

TARTU ÜLIKOOLI VILJANDI KULTUURIAKADEEMIA

Rahvusliku käsitöö osakond

Pärandtehnoloogia õppekava

Tarmo Tammekivi

**TOOTLIKKUSE KASVULE SUUNATUD TÖÖSKEEMI
LOOMINE WEEL OÜle TRADITSIOONIPÕHISTE
VAHVÄRKKONSTRUKTSIOONIDE VALMISTAMISEKS**

Magistritöö

Teemajuhendaja: Kadi Karine, MA

(muinsuskaitse ja arhitektuuri restaureerimine)

Koolipoolne juhendaja: Priit-Kalev Parts, MSc

Viljandi 2015

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1. UURIMISMETOODIKA.....	7
1.1 Osalusvaatlus	8
1.2 Tootlikkuse võrdlusanalüüs ja parima praktika tuvastamine	10
1.3 Katsekonstruktsiooni ehitus.....	12
2. OSALUSVAATLUS	13
2.1 Hamlet Heavy Timberwork	14
2.1.1 Meeskonnatöö ülesehitus.....	15
2.1.2 Vahvärkkonstruktsiooni märke- ja lõikemeetodid	16
2.1.3 Tööriistapark.....	23
2.1.4 Tootmistegevust toetanud arvutiprogrammid.....	24
2.2 Haystack Joinery	25
2.2.1 Meeskonnatöö ülesehitus.....	26
2.2.2 Märke- ja lõikemeetodid.....	27
2.2.3 Tööriistapark.....	32
2.2.4 Tootmistegevust toetavad arvutiprogrammid	35
2.3 Chapman Building	35
2.3.1 Meeskonnatöö ülesehitus.....	36
2.3.2 Märke- ja lõikemeetodid.....	37
2.3.3 Tööriistapark.....	41
2.3.4 Tootmistegevust toetavad arvutiprogrammid	41
3. KATSEKONSTRUKTSIOONI EHITUS	42
3.1 Katsekonstruktsiooni ettevalmistustööd	43
3.2 Meeskonnatöö ülesehitus.....	48
3.3 Mõõtmismetoodika katsekonstruktsiooni ehitusaja mõõtmiseks	49
3.4 Märke- ja lõikemeetodid.....	51
3.4 Kasutatud tööriistapargi kirjeldus.....	55
3.5 Tootmistegevust toetanud arvutiprogrammid.....	55
4. TULEMUSED.....	58
4.1 Weel OÜ tootlikkuse kasvu mõjutavad tegurid.....	58
4.2 Weel OÜ tootlikkuse kasvuks vajalikud arendusmeetmed tööskeemi täieulatuslikuks rakendamiseks	60
KOKKUVÕTE	

KASUTATUD KIRJANDUS

LISAD

Lisa 1 Tegevlubadega ja –lubadeta käsitöö palk- ja vahvarkettevõtete loetelu

Lisa 2 Osalusvaatlustel tuvastatud ettevõtete tööriistapargi loetelu

Lisa 3 Katsekonstruktsiooni tappide valmistamise ajavõtutabel

SUMMARY

SISSEJUHATUS

Käesolev magistritöö käsitleb tootlikkuse kasvule suunatud tööskeemi loomist traditsioonilise ehitusega tegelevale ettevõttele Weel OÜ traditsioonipõhiste vahvärkkonstruksioonide valmistamiseks. Töö eesmärk on koguda oskusteavet ning kaardistada tootlikkuse kasvu mõjutavad tegurid ning nende põhjal luua Weel OÜle tootlikkuse kasvule suunatud tööskeem.

Magistritöö teema valikut ajendas Weel OÜ vajadus tõsta ettevõtte konkurentsivõimet. Ettevõtte eesmärgiks on saavutada traditsioonipõhiseid vahvärkkonstruksioone valmistades tehnilise tootlikkuse tõus, mis võimaldaks tiheda konkurentsi ja varimajanduse suure osakaalu tingimustes ellu jääda. On teadatuntud fakt, et varimajandus traditsioonilise ehituse valdkonnas on igapäevane nähtus. Olgu põhjuseks siis ümbrikupalgad, käibemaksu pettused, töötajate Maksu- ja Tolliametile üles andmata jätmine või siis tegevusloa puudumine. Põhjuseid, miks nii tehakse on mitmeid: oskamatus konkurentsiga toime tulla, soovimatus investeerida tootmise kaasajastamisse, ehitusettevõtetes puuduvad vastutavad spetsialistid, soov hoida kokku tööjõukulusid, tööjõuprobleemid jne (Varimajandus Eestis 2014, lk 4-21). Igatahes tuleb kahjutundega tõdeda, et vaid ligikaudu kolmandikul käsitööna palk- ja vahvärkhooneid valmistavatest ettevõtetest on ehitustegevuseks vastav luba (vt lisa nr 1).

Magistritöös käsitlen tootlikkuse mõistet kui ettevõtte poolt tarbitud ajakulu ja vahvärkkonstruksiooni ehitusmahu suhet. Ehk teisisõnu on tootlikkus kui süsteemi (antud juhul ettevõtte) kulutatud sisendite ja teatava väljundi suhe (Kalle 2007, lk 7). Lihtsustatult öeldes tähendab tootlikkus seda, et sama töö tehakse võrreldes konkurentidega ära lühema ajaga. Väidan, et tööskeemi süstematiseerides on võimalik tootlikkust suurendada traditsioonipõhiste vahvärkkonstruksioonide valmistamisel. Läbimõeldud tööskeem võimaldab optimeerida ettevõtte ressursside (nt tööriistapark ja tööjõud) kasutust. Lisaks aitab tööskeem vältida mittevajalike liigutuste tegemist või ebaefektiivsete operatsioonide kasutamist.

Magistritöös kasutatav termin *vahvärk* tuleneb saksakeelsest sõnast *fachwerk*, mida „Kunstileksikon“ kirjeldab kui dekoratiivset seinakonstruksiooni, mis on levinud eelkõige Saksamaal, Põhja-Prantsusmaal ja Inglismaal alates keskajast kuni tänase päevani. See koosneb vertikaalselt, diagonaalselt ja horisontaalselt asetatud puitdetailidest. (Puit)sõrestiku vahel on savi,

tellised vm materjaliga täidetud ja krohviga kaetud pind. (Allas, A jt 2001, lk 459) Vältimaks erinevate oskussõnade vahelist segadust, täpsustab Sigrid Reili oma magistritöös „Väike saksa- eesti keskaja arhitektuuri seletav sõnastik“ terminit *das Fachwerk* nii vastet vahvärgile kui ka puitsõrestikule. Samas mõonab ta, et „Kunstileksikonis“ on terminina sees just vahvärk, millest järeldab, et antud aja ja konteksti puhul kasutatakse erialakirjanduses just seda sõna. Puitsõrestik tekitaks ehk segadust, kuna see on kasutusel ka tänapäeva arhitektuuris. (Reili 2005, lk 12) *Vahvärgina* valmistatakse lisaks seinakonstruktsioonidele ka põranda-, lae- ja katusekonstruktsioone. Eriliseks ehitustehniliseks tunnuseks on puupunnühendused – metallühendusi vahvärkehitudes üldreeglina (v.a sarikate kinnitamine) ei kasutata.

Magistritöös ei käsitle ma vahvärkkonstruktsiooni ajaloolist kujunemislugu ega arutle selle konstruktsiooni olemuse üle, kuna see pole töö eesmärgi seisukohalt oluline. Käesolevas töös vaatlen tööplatsil toimuvat ning muid ehitusega otseselt seotud tegevusi. Olulisel kohal on sealjuures mõiste *traditsioonipõhine*. Traditsioonipõhises ehitusprotsessis kandub rõhuasetus protsessilt tulemile. Ehitusprotsessides pole oluline traditsiooniliste ehitusvõtete kasutamine. Pigem on tootlikkuse kasvu silmas pidades poolmehhaniseeritud tööriistapargi (nagu näiteks elektrilised saed ja tapifrees) oskuslik kasutamine isegi eelduseks.

Magistritööga soovisin leida vastused järgnevatele küsimustele: Millised on tootlikkuse kasvu mõjutavad tegurid vahvärkehitudes? Missugust vahvärkkonstruktsiooni ehitustehnoloogiat ma peaksin kasutama katsekonstruktsiooni ehitamisel magistritöö eesmärgi saavutamisel? Missugused oleksid tootlikkuse kasvu mõjutavad tunnused tootlikkuse kasvule suunatud tööskeemi loomiseks Weel OÜle?

Magistritöö koosneb neljast peatükist. Esimese peatükis annan ülevaate uurimismetoodika üles ehitusest uurimisküsimuste lahendamiseks. Teises peatükis kirjeldan osalusvaatluste raames kogutud oskusteavet, mis hõlmab meeskonnatöö ülesehitust, traditsioonipõhise vahvärkkonstruktsiooni märke- ja lõikemeetodeid, nähtud tööriistapargi kirjeldust ja tootmistegevust toetanud arvutiprogrammide kirjeldust. Kolmandas peatükis annan ülevaate katsekonstruktsiooni ehitusest. Neljandas peatükis võrdlen tootlikkuse võrdlusanalüüsis saadud tulemusi ning kirjeldan tootlikkuse kasvu tunnuseid ja tööskeemi ülesehitust traditsioonipõhiste vahvärkkonstruktsioonide valmistamiseks.

Soovin tänada teemajuhendajat Kadi Karinet usalduse ja suunamise eest. Lisaks soovin tänada MTÜ Loodi Mõisa Arendust ja MTÜ Rahvusliku Ehituse Seltsi tehnilise toe pakkumise eest katsekonstruktsiooni ehitusperioodi vältel. Täna Signe Susi, kelle kaasabil oli mul võimalus leida rahastust projektist PÄRTEL (projekt Pärandtehnoloogia rakenduskeskuse väljaarendamine) osalusvaatluste läbiviimiseks Ameerika Ühendriikides.

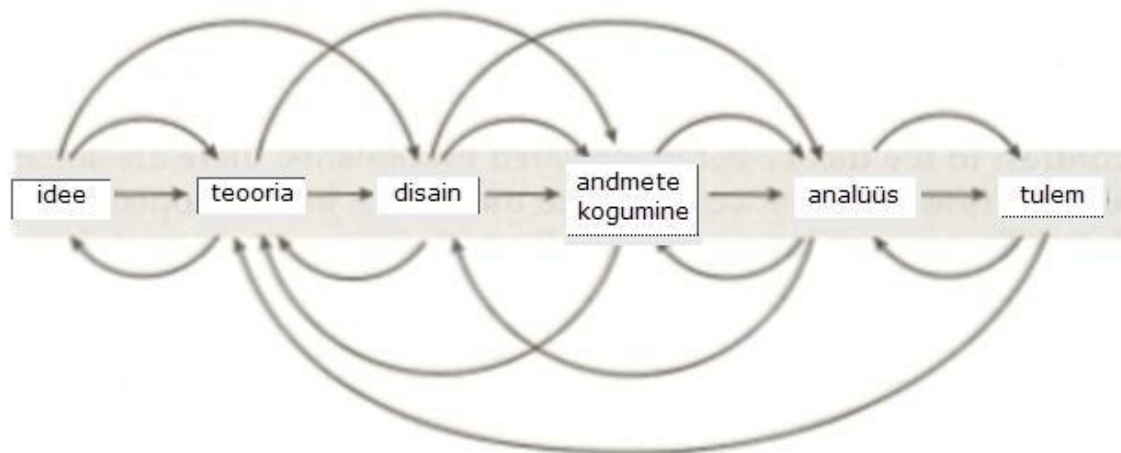
1. UURIMISMETOODIKA

Uurimismetoodika ülesandeks oli pakkuda tegutsemiskindlust uuritavate nähtuste vaatlemisel, kirjeldamisel ja analüüsimisel. Oluline oli siduda uurimistöö loov-praktiline iseloom uuritava valdkonnaga võimalikult tihedalt ja tõetruult – sihiks tegeliku elu kogemuspõhine kirjeldamine ning kogetu rakendamine uuenduslike mõttemallide loomiseks.

Uurimismetoodika toetus kvalitatiiv-kvantitatiivsele uurimismeetodile ehk *mix*-meetodile, mis aitas selgemalt määratleda uurimisprotsesside ülesehitust nii katsekonstruktsiooni ehitamisel kui ka osalusvaatluste läbiviimisel. *Mix*-meetod võimaldas minul kui uurijal integreerida ühes ja samas uurimistöös kvalitatiivseid (osalusvaatlus) ja kvantitatiivseid (tootlikkuse võrdlusanalüüs ja katsekonstruktsiooni ehitus) käsitusviise andmete kogumiseks, tulemuste ühendamiseks ja järelduste tegemiseks – numbrid ja sõnad said ühtseks teabeallikaks. (Õunapuu 2014, lk 70)

Uurimismeetodi mudeldamisel lähtusin soovist vältida enese sulgemist kindlat uurimiskorda nõudvasse uurimisprotsessi. Seda põhjusel, et kolmeaastase uurimisperioodi vältel tuli erinevates uurimisetappides kogutud informatsiooni ja oskusteavet korduvalt täiustada ja täiendada. Naasmine varasemasse etappi ei tähendanud selle lihtviisilist kordamist, vaid täiuslikumale tasemele viimistlemist – seega ei jätnud ma ühtegi uurimisetappi lõplikult seljataha senikauaks kuni olin saavutanud rahuldava ja uurimistööd edasiviiva tulemuse (Õunapuu 2014, lk 78). Kirjeldatud ebakorrapärase uurimisprotsessi ülesehitust aitas süstematiseerida *spiraalne* uurimisprotsessi mudel (vt joonis nr 1), mis kätkeb endas lineaarsusele omast loogikat.

Järgnevad alapeatükid kirjeldavad magistritöö uurimisetappide ülesehitust lähtuvalt püstitatud eesmärgile. Valitud uurimisviisid võimaldasid koguda Weel OÜ seisukohalt tegelikkuses toimivat oskusteavet ning selle rakendamist nii katsekonstruktsiooni ehitamisel kui ka tootlikkuse võrdlusanalüüsi läbiviimisel.



Joonis 1 Spiraalse uurimisprotsessi mudel (Allikas: Õunapuu 2014, lk 78).

1.1 Osalusvaatlus

Osalusvaatlus kujutab endast süstemaatilist uuritava grupi või organisatsiooni jälgimist ja talletamist osaledes nende igapäeva tegevustes. Osalusvaatluse käigus osalesin kolme erineva ehitusettevõtte töös: 2010. aastal ühes ettevõttes Kanadas ja 2013. aastal kahes ettevõttes Ameerika Ühendriikides.

Osalusvaatluste valimi määratlemine kujunes traditsioonipõhiseid vahvärkkonstruksioone valmistavate ettevõtete asukoha kättesaadavusest, konkurentsitihendusest, minu kui uurija vastuvõtuvalmidusest ja praktilisest ettevõtluskogemusest. Sellest tulenevalt osutus asjakohaseks piirkonnaks piki Põhja-Ameerika (Kanada ja Ameerika Ühendriigid) idarannikut kulgev traditsioonipõhise vahvärktööstuse piirkond, kus erialane innovatsioon ja traditsioon on tihedalt põimunud.

Vastuvõtu valmidust näitas üles kolm ettevõtet:

- Hamlet Heavy Timberwork, Kanada;
- Haystack Joinery, Ameerika Ühendriigid;
- Chapman Building, Ameerika Ühendriigid.

Osalusvaatluse eesmärk oli koguda tegelikkuses toimivat oskusteavet ettevõtete tootmisaladel toimuvast. Vaatlesin meeskonnatöö ülesehitust, lõike- ja märkemeetodeid, tööriistapargi ülesehitust ning tootmistegevust toetavate arvutiprogrammide kasutamist. Loetletud tegevused

võimaldasid selgemalt mõista uurimistöös osalenud ettevõtete tootmisala korralduslikku ülesehitust nii meistri kui tema tegevust toetava tööriistapargi tasemel. Eesmärk oli ühtlasi omandada erinevaid vahvärkehituses kasutusel olevaid ehitustehnoloogiaid, õppida tundma nende puudusi ja kasutegureid.

Osalusvaatlus võimaldas saada osaks ettevõtte meeskonnast. See tähendas juurdepääsu ettevõtte sisemaaile ja seal tegutsevatele isikutele ning seeläbi võimalust keskenduda uurimistöö seisukohalt olulistele aspektidele. Kogutud fotomaterjal, visandatud joonised, kirjalikud märkmed välitööde päevikus (vt foto nr 1) andsid võimaluse hoomata, mõõta ja analüüsida ühisjooni ning erinevusi ettevõtete tootmisalal tegutsenud puuseppade meeskonnatöös, tööriistakasutuses, ehitustehnoloogia valikutes jne.

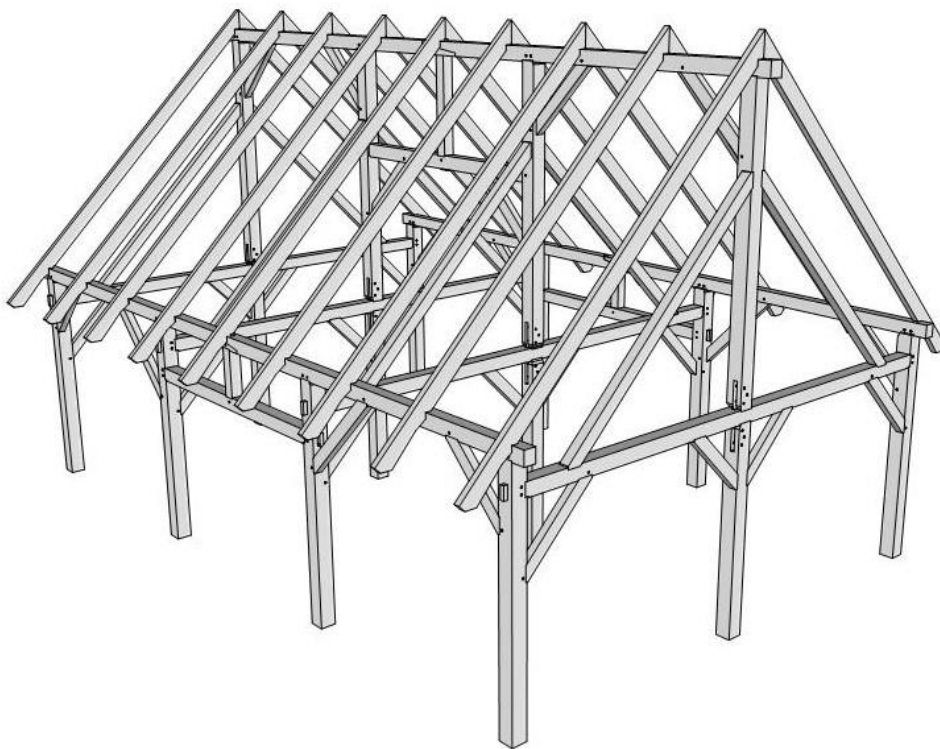


Foto 1 Kirjalik infojäädvustus välitööde päevikus 9. augusti tööpäeva sündmustest vahvärkettevõttes Haystack Joinery. Autori foto, 2015

Tootmisalal toimuvat on ettevõttel võimalik reguleerida ja kontrollida ehk dikteerida meeskonnale kui mitu ühikut on vaja ühes tunnis või päevas produtseerida. Sellest lähtuvalt kujundatakse tootmisahelate võimsus ja tootmistegevus, mis võimaldaks etteantud eesmärki edukalt ellu viia või sellest loobuda. Ettevõtte oskus kujundada tootmisahela efektiivsust ja tootmistegevust eeldab tootlikkuse tegurite määratlemist, mida oleks otstarbekas kasutusele võtta ja mida mitte (Kalle 2007, lk 11). Ehk ettevõtte peab omama varasemat kogemust tootlikkusele suunatud otsuste analüüsimisel ning nende vastu võtmisel.

1.2 Tootlikkuse võrdlusanalüüs ja parima praktika tuvastamine

Eedo Kalle on sõnastanud tootlikkuse võrdlusanalüüsi järgnevalt: „Tootlikkuse võrdlusanalüüs (*benchmarking*-analüüs) on eelkõige ettevõtte tootlikkuse võrdlemine teiste ettevõtete tootlikkusega, eesmärgiga leida parim ehk eeskuju vääriv ettevõtte ja parandada oma tulemust. Võrdlusanalüüs peaks andma vastuse kolmele põhiküsimusele: 1. Kus me praegu oleme võrreldes teistega? 2. Kus me tahaksime olla? 3. Mida me peame tegema, et sinna jõuda?. (Kalle 2007, lk 26)



Joonis 2 Arvutil konstrueeritud digitaalne 3D mudel tootlikkuse võrdlusanalüüsiläbiviimiseks. Autori joonis

Tootlikkuse võrdlusanalüüsi eesmärk käesoleva töö seisukohalt oli tuvastada parim ja efektiivsem tegevuspraktika traditsioonipõhiste vahvärkkonstruktsioonide valmistamisel. Selleks valmistasin ette katsekonstruktsiooni 3D mudeli, mille põhjal viisin läbi järgmise etapi ehk katsekonstruktsiooni ehituse. Tootlikkuse võrdlusanalüüsi meetodi rakendamiseks vajaliku mõttelise konkurentsi lõin kolme vahvärkehitusettevõtte kaasamisega, kes 3D mudeli põhjal aitasid luua võrdsetel alustel põhineva võrdlusmomendi, pakkudes vajalikku teavet tootlikkuse võrdlemiseks.

Konstrueeritud digitaalse 3D vahvärkkonstruktsiooni mudelis (vt joonis nr 2) tõin välja konstruktsiooni mahu ja tappühenduste lahendused ning arvu. Eesmärk oli anda võrdlusanalüüsis osalevatele ettevõtetele täpne ülevaade, missugune saab olema minu poolt ehitatav katsekonstruktsioon. Ettevõtetele seadsin ülesandeks koostada ajamahupakkumised, kui kaua neil kuluks 3D mudelina saadetud vahvärkkonstruktsiooni ehitamiseks oma tööplatsil, arvestades seal kasutatavaid ehitustehnoloogiaid. Ettevõtetele saadetud 3D mudeli ajamahupäring ei hõlmanud ehitusmaterjali ettevalmistustöid, valminud konstruktsioonidetailide viimistlemist, ega vahvärkkonstruktsiooni transporti ja püstitamist sihtkohas.

Võrdlusanalüüsis osalenud ettevõtete valimis soovisin näha osalusvaatlustel osalenud ettevõtteid. Kahjuks minust mitteolevatel põhjustel loobus Chapman Building võrdlusanalüüsis osalemast. Seega kaasasin vabatahtlikkuse alusel uuringusse Lõuna-Eesti palkehitusettevõtte Hobbiton Home OÜ, mille üks tegevusharusid on traditsioonipõhiste vahvärkkonstruktsioonide valmistamine.

Tootlikkuse võrdlusanalüüsis osalenud ettevõtted:

- Hamlet Heavy Timberwork, Kanada;
- Haystack Joinery, Ameerika Ühendriigid;
- Hobbiton Home OÜ, Eesti.

Pärast katsekonstruktsiooni ehitust oli mul võimalik tootlikkuse võrdlusanalüüsi meetodit kasutades enda poolt saadud tulemust nimetatud kolme ettevõtte hinnangulise ehitustoolikusega võrrelda. Võrdlusanalüüsi eesmärk oli leida kinnitust, kas katsekonstruktsiooni ehitamisel kasutatud oskusteave oli tulemuslik või mitte – kas olin suutnud osalusvaatlusel omandatu põhjal viia oma ehitustegevuse võrdsele või paremale tasemele vaatluses osalenutest ehk suutnud tuvastada efektiivsemad töövõtted ning neid omavahel kombineerida. Kas Weel OÜle loodav tootlikkuse kasvule suunatud tööskema tagab sama töö tegemise lühema ajaga?

1.3 Katsekonstruktsiooni ehitus

Katsekonstruktsiooni ehituse eesmärk saavutada tootlikkuse aste, mis annaks parema või võrdse tulemuse võrdlusanalüüsis osalenud ettevõtete seas. Võrdlusanalüüsi kaudu soovisin tõestada osalusvaatluste ja varasemate töökogemuste käigus kujunenud tööskeemi tõhusust ja toimivust.

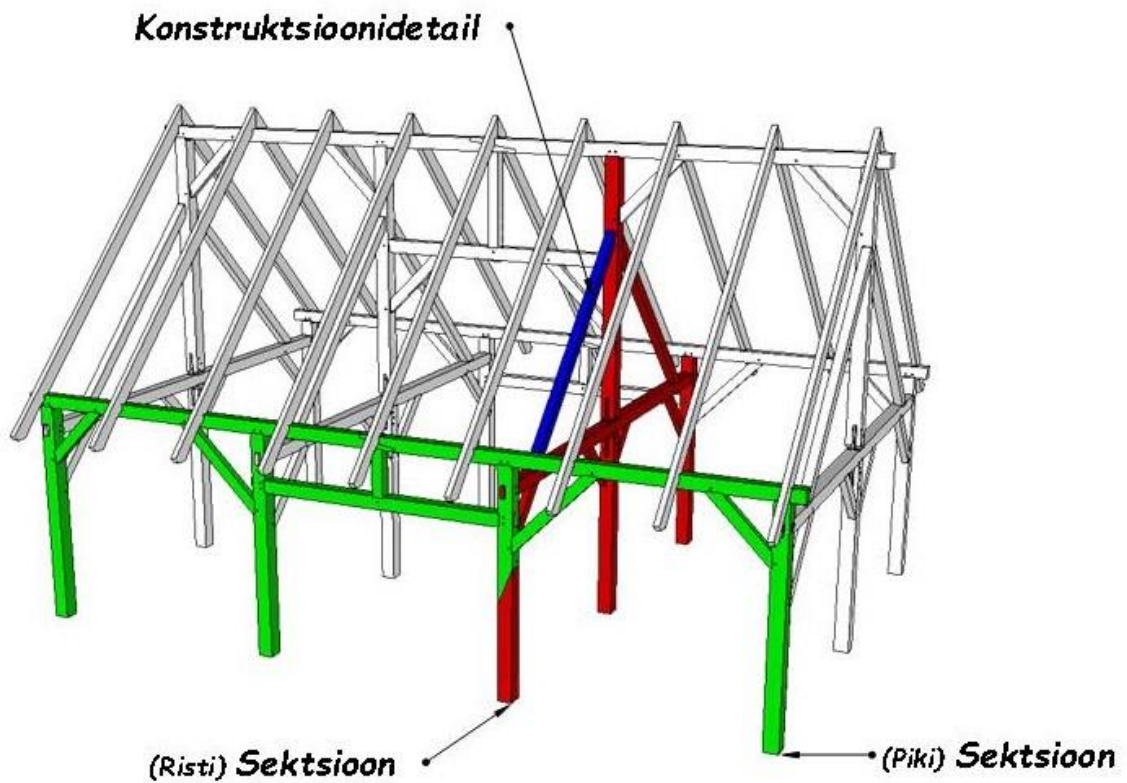
Katsekonstruktsiooni konstruktsioonilahendus (vt joonis nr 2) oli ülesehitatud viisil, mis võimaldas läbi viia korrapäraseid ajamõõtmisi nii detaili-, sektsiooni- kui terviktasandil kogu ehitusperioodi vältel. Ajamõõtmis tulemustele toetudes oli võimalik fikseerida kiireim tööriistakäsitlus nii märke- ja lõiketehnikas, mida edaspidi kasutada tootlikkuse kasvule suunatud tööskeemi rakendamisel.

Kiireima tööriistakäsitluse fikseerimine eeldas konstruktsioonilahendust, mis võimaldaks läbi viia korduvkatseid kasutades erinevaid nii kaasaegseid kui ka traditsioonilisi tööriistu ja töövõtteid. Eesmärk eristada kiirem tööriistakäsitlus aeglasemast. Iga töö võib teostada mitmesuguste töövõtete ja tööriistadega, kuid ainult teatud võtete ja tööriistade abil saavutatakse suurimat efekti, see tähendab väiksema ressursside kulutamisega suuremaid tulemusi (Veski 1949, lk 17).

Katseperioodi vältel kogutud mõõtmistulemused koondasin Microsoft Exceli tekstitöötlusprogrammis konstruktsiooni sektsioonidel tuginevasse koondtabelsüsteemi, kuhu kandsin ainult kiiremad tööriistakäsitluste ajad (vt lisa 3). Koontabel võimaldas katsekonstruktsiooni valmides luua ühtse pildi ehitusperioodi pikkusest, mille najal oli võimalik analüüsida katsekonstruktsiooni ehituse tootlikkust võrdlusanalüüsis osalenud ettevõtetega.

2. OSALUSVAATLUS

Peatükki läbib kaks olulist terminit, mida kasutan vahvärkkonstruksiooni kirjeldamisel. Terminite seletust toetab järgnev illustratiivne joonis:



Konstruktsioonidetail. Vahvärkkonstruksiooni üksikosa: nt post, diagonaal, ristivöö. Sektsioon. Detailide alusel on võimalik konstruktsioon jagada suuremateks sektsioonideks, mis lihtsustavad ehitusprotsesside ülesehitust: nt hinnapakkumise koostamine ja materjali- ja tööajaarvutused.

2.1 Hamlet Heavy Timberwork

Aeg: 2009. aasta detsember kuni 2010. aasta aprill.

Asukoht: Rigaud, Lõuna-Quebec, Kanada

Ettevõtte oskusteabe päritolu: Saksamaa, Prantsusmaa, Suur-Britannia, Norra ja Rumeenia.

Töökoja kirjeldus: ca 550 m² põrandapindalaga tootmispind oli eraldatud välikeskkonnast ning vajadusel köetav (põrandaküte). Töökojas paiknesid elementaarsed olme ning kontoriruumid. Puitdetailide liigutati elektritoitel töötaval kahveltõstukiga. Tööriistu hoiustati eraldi lukustatavas tööriistaruumis. Töökoja tootmisala on jäädvustatud fotol nr 2.



Foto 2 Hamlet Heavy Timberwork töökoja tööplats. Autori foto, 2010

2.1.1 Meeskonnatöö ülesehitus

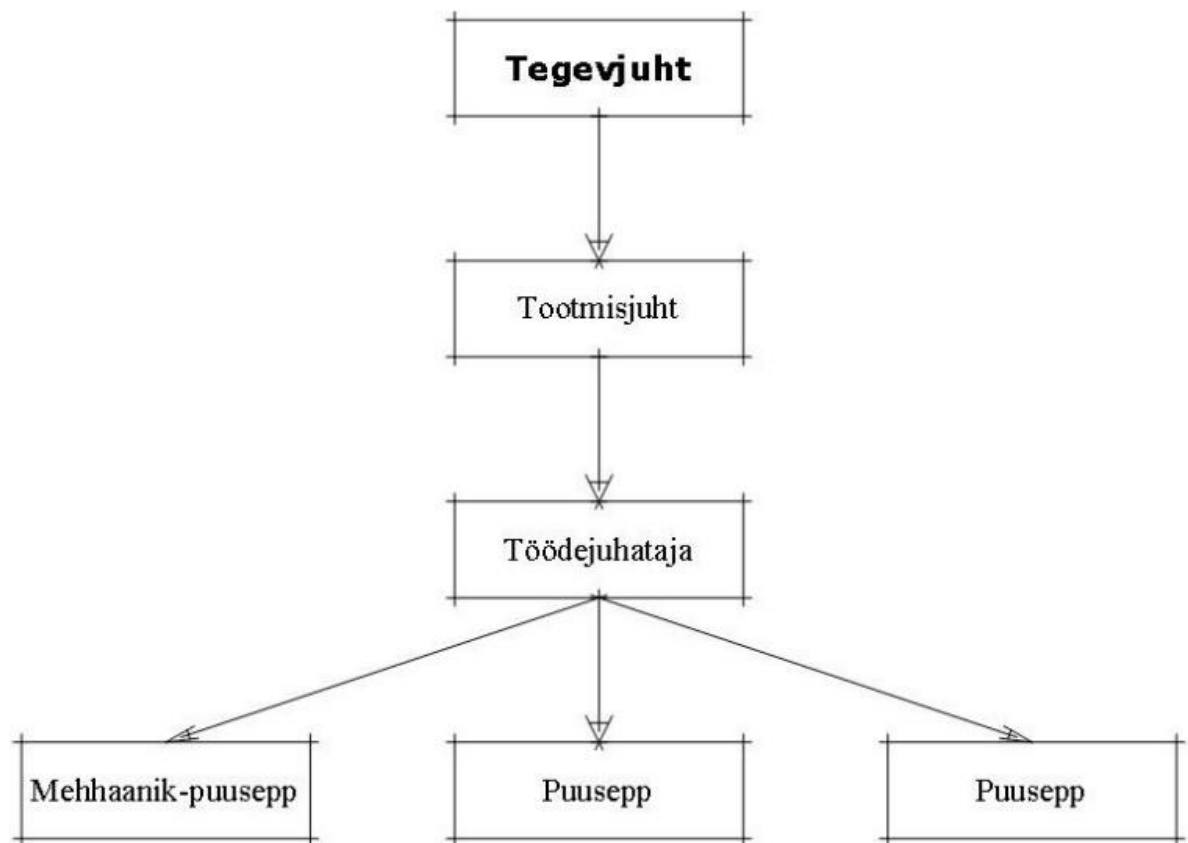
Ettevõtte 6-liikmeline meeskond jagunes neljaks üksuseks (vt joonis nr 3). Üksusteks jagunemise aluseks oli tehtavate tööde iseloomud – puuseppadel puusepatööd, tootmisjuhil tööjooniste koostamine jne. Üksuste tegevust koordineeris ettevõtte tegevjuht, kes lähtus ülesannete jagamisel tehtavate tööde ülesehitusest. Tegevjuhi esmaseks ülesandeks oli kooskõlastada tegevusi koostööpartnerite ja klientide vahel ning sellest lähtuvalt üles ehitada plaanitavate konstruktsioonilahenduste esmased tegevuskavad ja koostada hinnapakkumised.

Nende alusel alustas tegutsemist tootmisjuht, kelle ülesandeks oli hinnapakkumiste ja tegevuskavade täpsustamine. Lisaks koostas ta täpseid tööprojekte konstruktsioonilahenduste ehitamiseks ja püstitamiseks sihtkohas. Tootmisjuhi kohustus oli ühtlasi jälgida, et töödejuhataja peaks kinni etteantud tähtaegadest. Töödejuhataja ülesandeks oli luua tööskeeme, mis võimaldaks kasutada ettevõtte tööjõudu ja tööriistaparki maksimaalsel määral. Oluline oli, et töödejuhatajale alluvad puusepad tegutseksid ka omavahel ühtse üksusena ning mõistaksid töödejuhatajalt saanud ülesandeid tööseisakute välimiseks.

Meeskonnaliikmete positsioneerimisel lähtuti ettevõtte poolt dikteeritud vajamineva oskusteabe ja kvaliteedi nõuetest. Tähtis oli, et iga liige teadvustaks enda oskusteabe rolli tootmistevõtte läbiviimisel. Kõik meeskonna liikmed (k.a tootmisjuht ja töödejuhataja) omasid puusepaalaseid teadmisi nii teoreetilisel kui ka praktilisel tasandil, mis võimaldas vajadusel ehitusprotsessidega liituda. Kolmas meeskonna puusepp-mehhaanik teostas lisaks puutööle tööriistaparandusi.

Toetudes Arvo Veski „Ehitustootluse“ raamatule, siis rakendati Hamlet Heavy Timberwork's administratiivsüsteemi: *„Iga madalam instants (osakond või isik) peab alluma ainult ühele kõrgemalseisvale instantsile, kellelt ta saab korraldusi ja juhendeid kõikide küsimuste kohta. Kõik vastastikkused ametisikutevahelised suhted on süsteemi juures selged ja nende realiseerimine on lihtne. Sellise juhtimise organiseerimise süsteemi puhul nõutakse aga korraldavate instantside mitmekülgset kompetentsust. Täpsema ja operatiivse juhtimise tarvis peab igale korraldavale instantsile alluma mitte üle 5-6 madalama instantsi. Administratiivsüsteem on otstarbekas ehituse- ja remonditööde väiksemate mahtude korral. Ehitustööde suurte mahtude puhul on raskus kompetentsuse ja korraldavate instantside kooskõlastatud tegevuste saavutamiseks“*. (Veski 1949, lk 683)

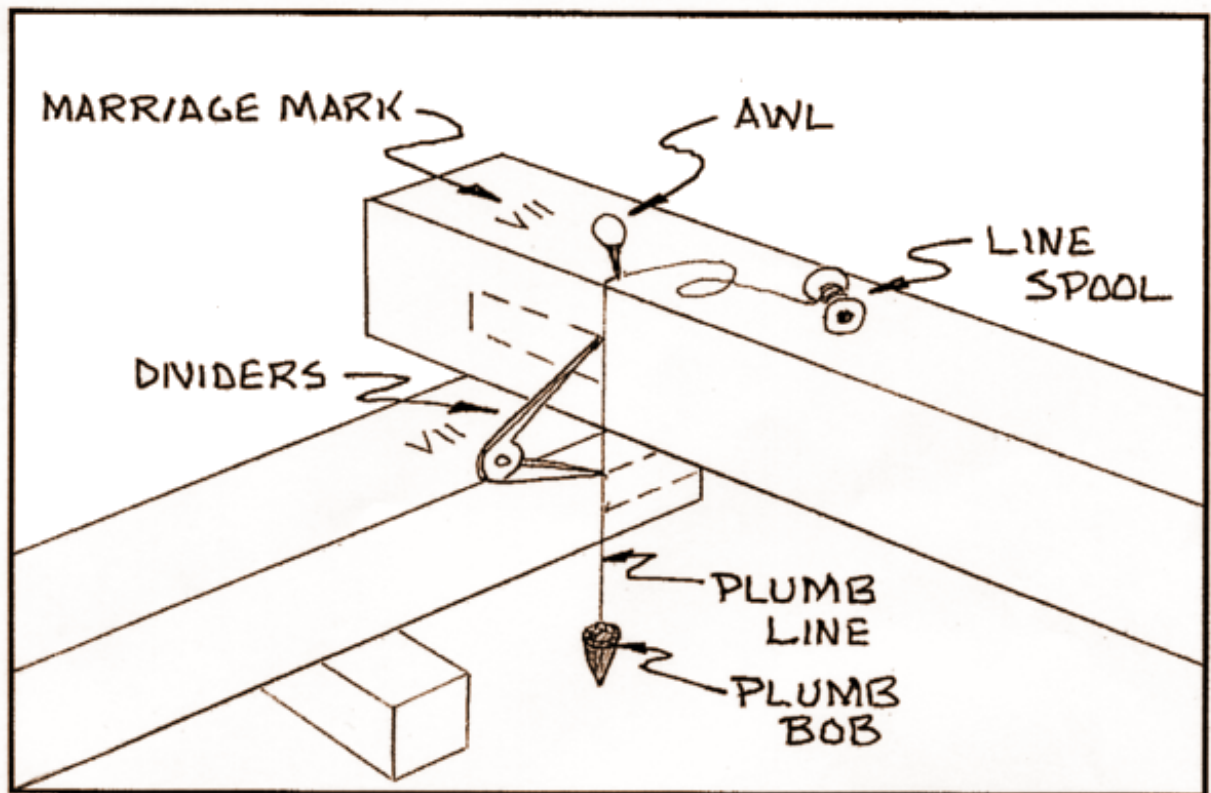
Kuna meeskonna komplekteerimisel oli järgitud põhimõtet, et iga liige peab omama puusepatöölalast kompetentsust, oli ka üksuste vahelist ehitustegevuse koordineerimine oluliselt lihtsam. Iga meeskonnaliige tundis erinevaid ehitustehnoloogiaid ja märke- ja lõikeoperatsioone ning neid vajadusel valmis teostama.



Joomis 3 Hamlet Heavy Timberwork meeskonna ülesehitus. Autori joonis

2.1.2 Vahvärkkonstruktsiooni märke- ja lõikemeetodid

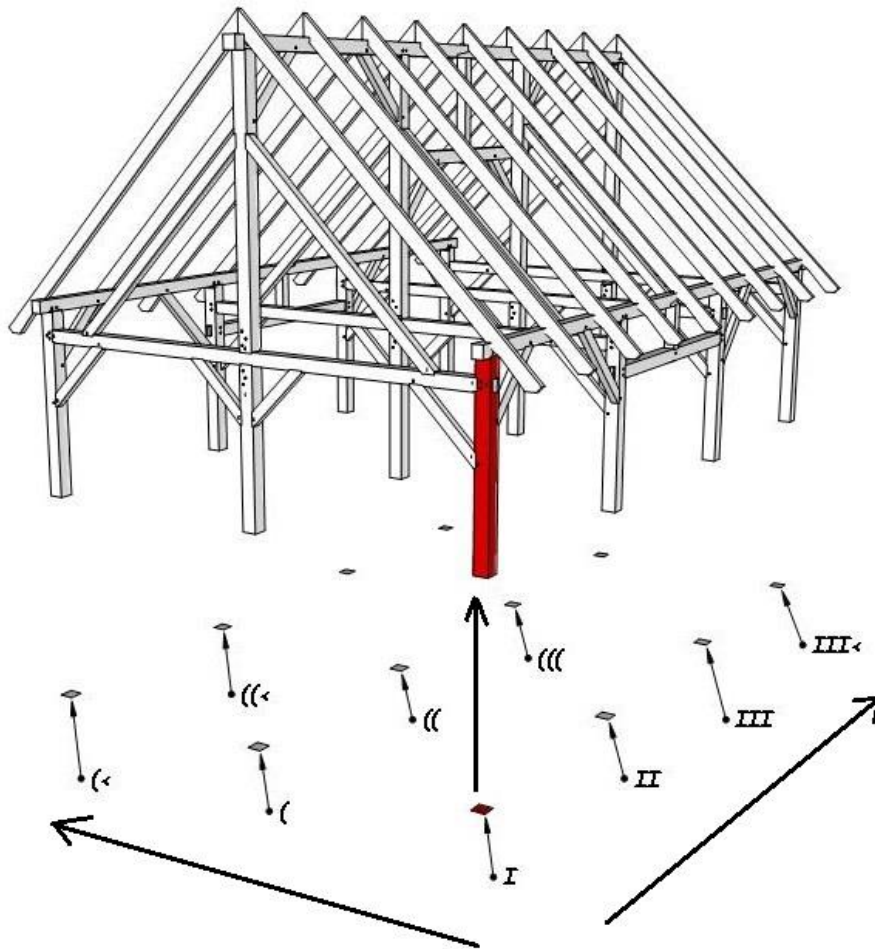
Märkemeetodid. Kanada ettevõttes kasutati vahvärkkonstruktsioonide ehitamisel prantsuse-inglise-pärast ehitustehnoloogiat ja selle modifikatsioone. Inglise keelt kõnelevas keeleruumis kutsutakse seal kasutusel olnud märkeviisi *scribe rule*-meetodiks. Antud magistritöös kasutan eestikeelse vastena *scribe rule*-meetodile *nöörloodmeetodit*. Seda põhjusel, et tappide märkimisel ja sektsioonide laotamisel töötasapinnale kasutatakse peamiselt nöörloodi (vt joonis nr 4) ja mõõtesirkli abi.



Joonis 4 Nöörloodi (ing k *plum bob*) ja mõõtesirkli (ing k *dividers*) tööprotsess. (Allikas: Heartland Science 2015)

Vahvärkkonstruksiooni ehitust alustati esmalt tööjooniste koostamisega, mis hõlmas ka konstruktsioonisektsioonide ja -detailide asukoha määratlemist ettevõttes kasutuses olnud märgisüsteemi alusel. Tööjoonistele võidi lisada suuniseid keerulisemate detailiosade lõikamiseks: näiteks mitu lõiget peaks tööoperatsioonide läbiviimiseks tegema jätkseotiste valmistamiseks. Lisati ka märkesuundi, kuidas peaksid sektsioonidetailid üksteise suhtes paiknema.

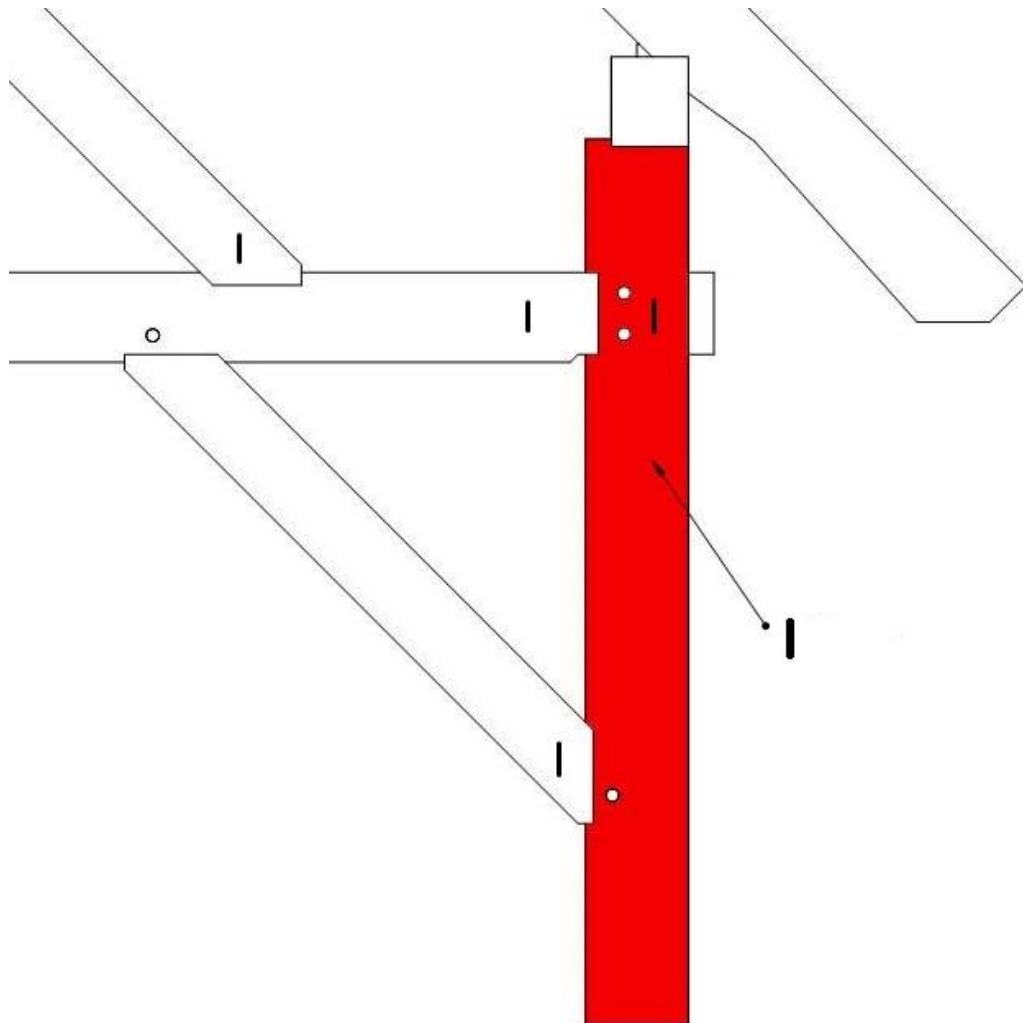
Sektsioonidetailide märgistamisel kasutati vertikaalselt või horisontaalselt asetuvaid kriipse I ja poolkuusid (ning nende modifikatsioone. Kriipsude ja poolkuude kombinatsioonide hulk sõltus konstruktsiooni sektsioonide arvust, millest tulenevalt kasutati kriipsudest ja poolkuudest koosnevaid märkelahendusi nagu näiteks (((; |||; (< jne. Märgisüsteemi ülesehitust alustati tavaliselt tootmisjuhi poolt määratud asukohast, üldjuhul valiti selleks ehitatava konstruktsiooni välisseinte üks nurgapostidest, mis tähistati vertikaalse kriipsuga I (vt joonist nr 5).



Joonis 5 Hamletis kasutatud märgisüsteem ja selle ülesehitus. Autori joonis (Allikas: Newman 2005, lk 112)

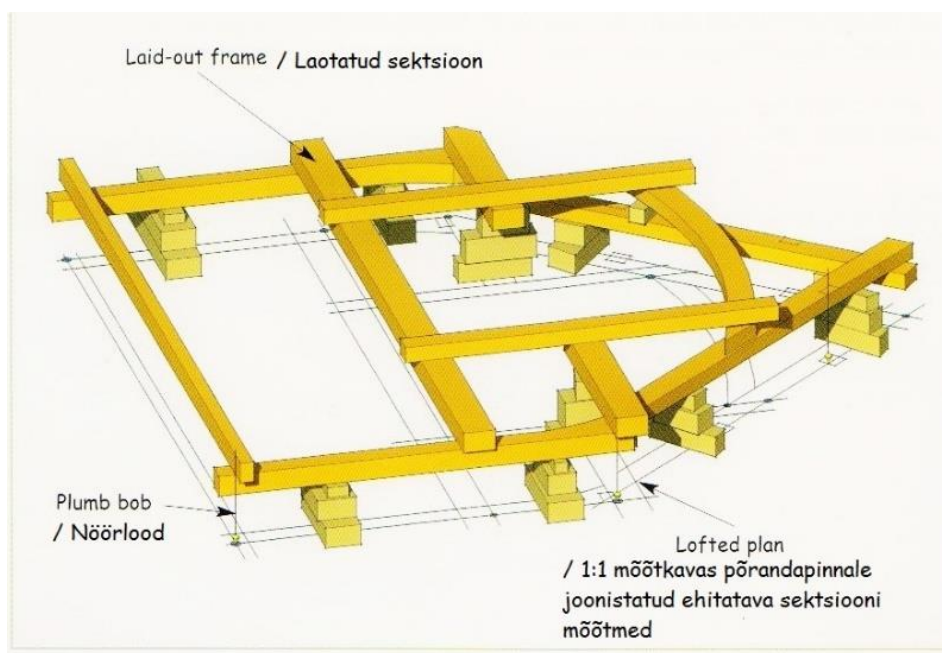
Sektsioonidetailide märgistamist viidi läbi lapik- ja kumerpeitliga. Oluline oli, et peitliga süvistamine oleks tehtud korralikult ja süsteemselt (vt joonist nr 6) vältimaks hilisemaid arusaamatusi detaili asukoha määramisel konstruktsiooni püstitamise käigus. Hamletis teostas detailide märgistamist reeglina ainuisikuliselt töödejuhataja, kes niisiis vastutas, et kõik vahvärkkonstruktsiooni detailid saaksid asukoha määranguga kaetud. Ainuisikulise vastutuse seadmist põhjendati vajadusega vältida märgistuseta detailide teket. Märkimisel tuli järgida reeglit, kus kriipsud ning poolkuud ja nende modifikatsioonid paiknesid põhiplaanel üksteise suhtes paralleelselt (vt joonist nr 5) ega satuks samale trajektoorige. Kuna nõorloodmeetodit kasutades on valmivad konstruktsioonidetailid igaüks erimoodi ja ühes vahvärkkonstruktsioonis võib olla sadu detaile, siis sellest ka eelpool mainitud põhjus, miks segaduse vältimise ja aja kokkuhoidmise eesmärgil teostas märgistamist üldjuhul töödejuhataja või erandjuhtudel enne ehituse algust tootmisjuhi poolt määratud isik.

Hamletis kasutati *nöörloodmeetodit* kahel viisil: *lofting*-meetod ning *nullpunkt*-meetod. Nöörloodimeetodi *lofting*-võtte (vt joonist nr 7 ja fotot nr 3) korral joonistati ehitatava sektsiooni parameetrid koos tappide asukohtadega 1:1 mõõtkavas töökoja põrandale. Järgmise etapina asetati vajaminevad konstruktsioonidetailid põrandapinnast ca 20-25 cm kõrgusele prussiklotsidele. Märkekõrgust põhjendati sooviga minimeerida töökoja põranda ebatasasustest tulenevaid ebakõlasid.



Joonis 6 Autori joonis (Allikas: Newman 2005, lk 112)

Järgmise etapina asetati konstruktsioonidetailid rööpselt nöörloodi abil (vt joonist nr 7) põrandapinnal olevate joontega, seejärel looditi detailid piki- ja ristisuunas. Seejärel kontrolliti nende asetust uuesti ning asuti tappe nöörloodi ja vajadusel sirkliga märkima. *Lofting*-võtet kasutati siis kui ehitatavas vahvärkkonstruktsioonis oli rohkem kui üks samasuguse ülesehitusega sektsioon. Ühe põrandale joonistatud „maakaardiga“ sai üles ehitada mitu sarnast sektsiooni.



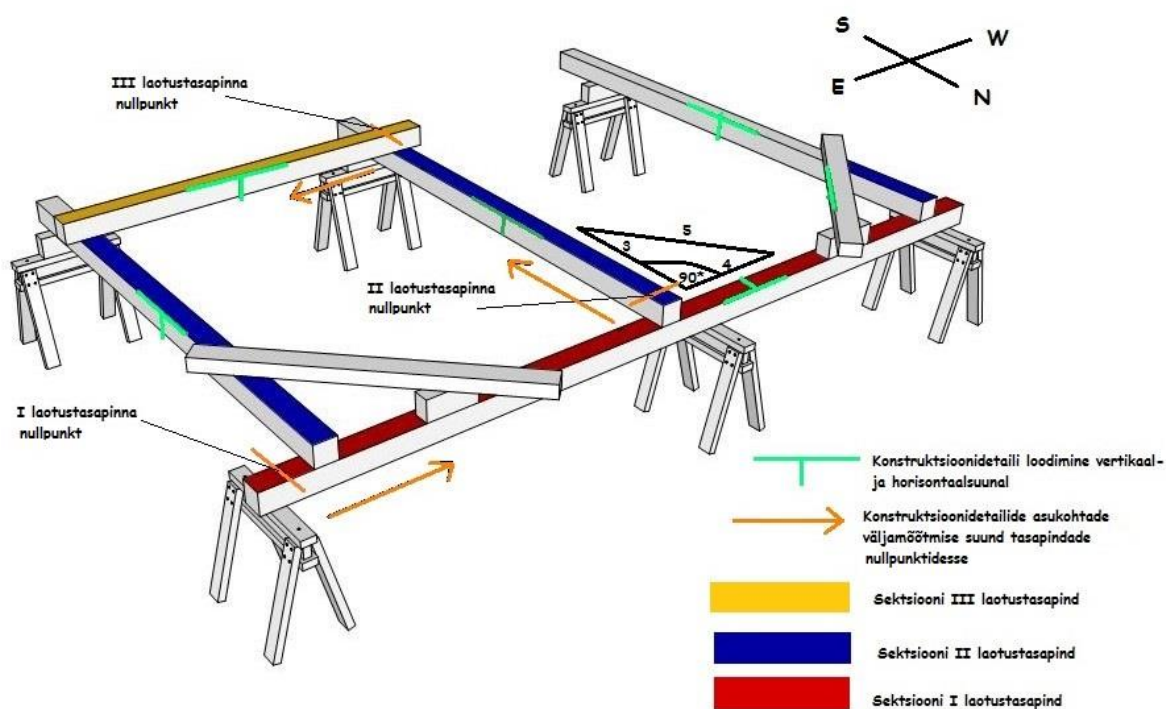
Joonis 7 Rupert Newmani poolt visandatud joonis *lofting*-võtte ülesehitusest nöörloodimeetodit kasutades. Rupert Newman joonis (Allikas: Newman 2004, lk 2014)



Foto 3 Katusekonstruktsiooni ehitus Hamletis. Kasutati nöörloodimeetodi *lofting*-võtet. Autori foto, 2010

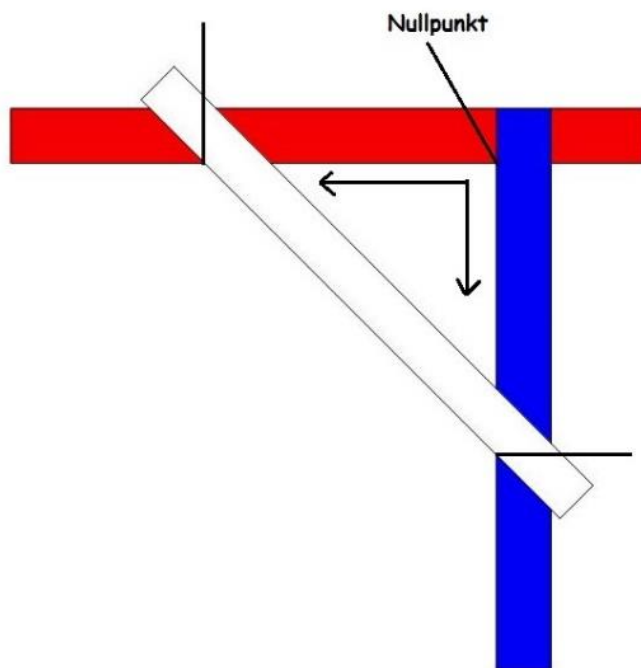
Teist Kanada ettevõttes kasutatud nöörloodimeetodit nimetan *nullpunkt-meetodiks*. Sel juhul laotati sektsioonidetailid nullpunktist mõõdetuna laiali kogu sektsiooni perimeetri ulatuses puusepale sobivale töökõrgusele (vt joonis nr 8). Seega *lofting*-võttele omane 1:1 mõõtkavas sektsioonijoonise joonistamine põrandapinnale ja detailide asetamine ca 20-25 cm kõrgusele ei olnud enam vajalik. Samas säilis nõue loodida kõik laiali laotatud sektsioonidetailid vertikaal- ja horisontaalsuunal. Nullpunkti asukohta võis ehitusprotsessi käigus muuta. See tähendas seda, et

igale sektsiooni laotustasandile võis puusepp vajadusel määrata uue nullpunkti. Asukoha määramisel tuli silmas pidada kasutatava materjali iseloomu. Näiteks kirvega tahatud või ebaühtlaselt saetud materjali korral kasutati nullpunkti määramisel mõttelist keskjoont, mis vajadusel toodi esile märkenööri abil.



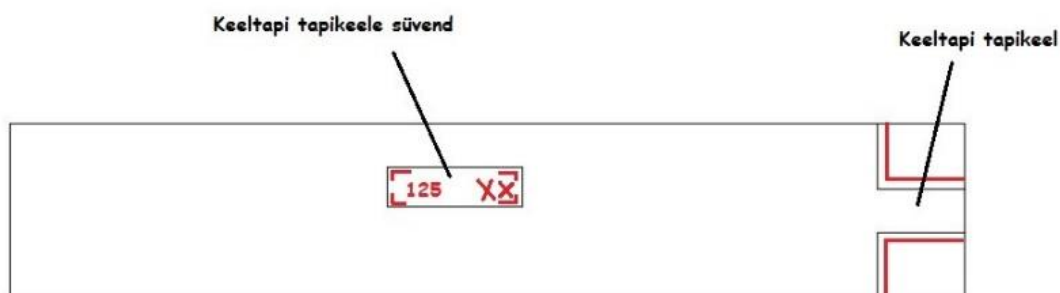
Joonis 8 Nullpunkt-meetodi ülesehitus sektsiooni ehitamisel Hamlet Heavy Timberworkis. Autori joonis

Joonis number 8 illustreerib Kanada ettevõttes kasutatud sektsioonidetailide asukohtade väljamõõtmise järjekorda. Punase, sinise ja kollasega on tähistatud laotatud sektsiooni tasapinnad. Sektsioonilaotust alustati vööprussi (tähistatud punasega) asetamisega tööpukkidele. Sellele järgnes vööprussi loodimine horisontaal- ja vertikaalsuunal. Järgmise etapina mõõdeti (suunaga idast läände) välja II laotustasapinna postide (tähistatud sinisega) asukohad. Postid asetustid vööprussi suhtes täisnurkselt, mis saavutati kasutades 3-4-5 mõõtmismeetodit. Postid looditi vertikaal- ja horisontaalsuunal. Kolmanda etapina mõõdeti välja diagonaaltugede asukohad (vt joonis nr 9), nullpunktiks määrati I ja II laotustasapinna ristumiskoht, diagonaaltoed looditi vertikaal- ja horisontaalsuunal. Neljanda etapina mõõdeti välja III laotustasapinna (tähistatud kollasega) detailide asukohad (suunaga põhjast lõunasse), nullpunktiks I ja II laotustasapinna ristumiskoht (vt joonis nr 8). Kui kõikide sektsioonidetailide asukohad olid määratud asuti nõõrloodi ja vajadusel märkesirkli abil ühendustappe märkima. (Tammekivi 2010, lk 4)

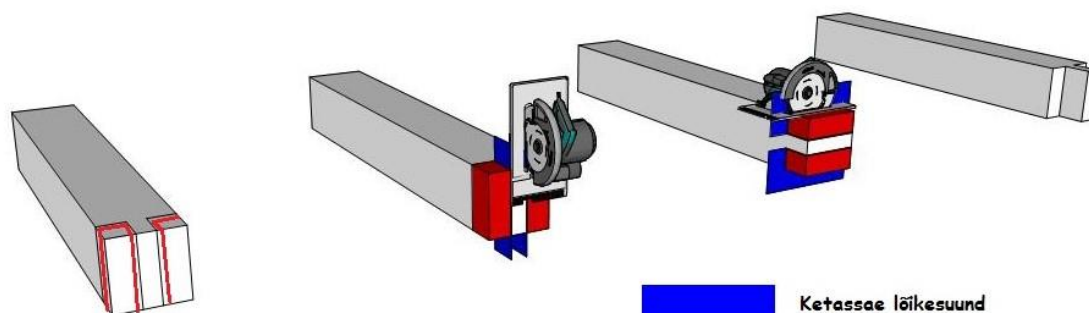


Joonis 9 Diagonaaltoe asukoha välja mõõtmine nullpunktist. Autori joonis

Keeltapi tapikeelte ja süvendite märgistamisel kasutati lõikealasid esile toovaid märgistusviise. Keeltapi tapikeele süvendi lõikeala tähistati ristide, katkendlike või pidejoontega. Oluline oli, et puusepp, kes lõikeoperatsioone läbi viis, mõistaks eelneva puusepa poolt kasutatud märgisüsteemi. Üldjuhul puusepad täpsustasid omavahel kasutatud märgistuse iseloomu, enne kui asuti lõikeoperatsioone läbi viima. Kuid samas puudus Hamletil standardne süsteem lõikealade määratlemiseks, mis mõningal juhul päädis valesti lõigatud tappidega. Joonisel nr 10 olen välja toonud ühe variandi, kuidas Hamletis tähistati keeltapi tapikeele ja süvendi lõikeala.



Joonis 10 Keeltapi tapikeele ja süvendi lõikealade tähistamine prussil punase värviga. Number 125 (mm) määratleb süvendi sügavuse. Tähis XX annab puusepale suunised freesimistäpsusele, mis tuleneb diagonaaltoe tapikeele suunast. Autori joonis



Joonis 11 Hamleti 4lõike (ing k *four-cut-tenon*) lõikeskeem keeltapi tapikeele lõikamiseks. Autori joonis

Lõikemeetodid. Hamlet Heavy Timberworki töödejuhataja soovis, et puusepad oleksid lõikeoperatsioone tehes võimalikult efektiivsed. Kohapealne tööriistavalik oli sellele vastavalt ka üles ehitatud. Puuseppadele seati ülesandeks teha võimalikult vähe lõikeid tappide saagimisel. Töödejuhatajal oli välja kujunenud vastav keelekasutus erinevatele lõikeoperatsioonidele, mida mõningatel juhtudel ka tööjoonistele kanti. See võimaldas uutel meeskonnaliikmetel paremini kohaneda Hamletis käibel olnud töövõtetega. Näiteks tavalist keeltapi tapikeelt kutsuti *four-cut-tenon`ks*, millele lisandusid *six-cut-tenon* ja *eight-cut-tenon* (vt joonist nr 11). Eesti keel tõlgituna tähendavad need lõigete arvu kui palju oli puusepal soovitatav teha erinevate keeltapi tapikeelte välja saagimisel. Lisaks kasutati veel teisi lõikealaseid termineid lõikeviiside määratlemisel, mis tulenesid üldjuhul lõikeoperatsioonil kasutatava tööriista nimetusest nagu näiteks *band-saw-cut*. Eestikeelde tõlgituna tähendab see portatiivse lintsae lõiget. Seda lõiketüüpi kasutati dekoratiivsete sarika- ja talaotste lõikamisel.

2.1.3 Tööriistapark

Hamlet Heavy Timberwork'i tööriistapark hõlmas nii ettevõtte kui puuseppade isiklikke tööriistu. Puuseppade personaalne tööriistakast koosnes üldjuhul traditsioonilistest lõike- ja märketööriistadest nagu näiteks peitlid, käsisaed, mõõdulint jne. Ettevõtte tööriistapark koosnes spetsiifilisematest elektri või vedelkütusel töötavatest käsitööriistadest ja suurematest puutöömashinadest nagu näiteks paksushövelmasin, *Wood-Maizer* lintsae saekaater (diisel) jne. Täpsema ülevaate Hamlet Heavy Timberworkis kasutusel olnud tööriistapargist saab lisas nr 2 toodud tööriistade loetelu abil.

2.1.4 Tootmistegevust toetanud arvutiprogrammid

Ettevõttes kasutati tootmistegevust toetavate arvutiprogrammidena joonestusprogrammi SketchUp Pro (edaspidi SKP) ja tabelarvutusprogrammi Microsoft Excel.

SKP on 3D mudeldamiseks sobiv joonestusprogramm, millega joonistati 2D ja 3D visandeid (vt joonist nr 12) ning koostati tööprojekte ehitustegevuste läbiviimiseks. Hamleti tootmisjuht kiitis SKP hinda, mis oli 2010. aastal ligikaudu 10 korda odavam Eestis küllaltki laialt levinud joonestusprogrammist AutoCAD (eravestlus tootmisjuhiga 2010).



Joonis 12 Hamlet Heavy Timberwork tootmisjuhi poolt koostatud küüni 3D visand. Murray Elliot'i joonis (Allikas: https://www.facebook.com/HamletHeavyTimberwork/photos_stream)

Tootmisjuhi sõnul on SKP multifunktsionaalne projekteerimisprogramm, mis ühildus teiste laialt levinud programmidega, mis kasutavad .dwg failiformaate. Lisaks on SketchUp programmi vähemate võimalustega versiooni võimalik vabavarana internetist alla tõmmata ning see andis kliendile võimaluse vahvärkkonstruksiooni projekteerimise kulgu jälgida. (Eravestlus tootmisjuhiga 2010)

Tabelarvutusprogrammis Microsoft Excel (edaspidi ME) koondati hinnapakumiste koostamiseks SKPs loodud informatsioon, mis hõlmas nii ajakulu- kui ka vajamineva ehitusmaterjali mahtusid.

Ajamahu arvutuse näitena on järgnevalt toodud Hamleti tootmisjuhi poolt magistritöö kolmandas peatükis käsitleva katsekonstruktsiooni ehitusele koostatud ajamahuarvutuseks loodud ME tabel (vt foto 1). Mahu arvutamiseks kasutas tootmisjuht minu poolt saadetud SKP 3D konstruktsiooni

joonist, kust oli võimalik välja lugeda mitmest seksioonist ja tapist konstruktsioon koosnes. Sellisel kujul infotöötlemist viis läbi Hamleti toomisjuht ka teiste ettevõttes ehitavate konstruktsioonilahendustega.

Lay-Up	Number of Lay-Ups	Type of Joint	Number of Joints	Complexity Factor	Total Hours
Ridge	1	MAF	18	1	18
		Through Tenon	2	1.5	3
		Splice	4	2	8
		Scarf	1	2	2
					31
Exterior Walls	1	MAF	12	1	12
		Through Tenon	4	1.5	6
		Splice	0	2	0
		Scarf	1	2	2
					20
Cross Frames	2	MAF	12	1	12
		Through Tenon	2	1.5	3
		Splice	1	2	2
		Scarf	0	2	0
					17
Rafters	4	Top Cut	1	0.25	0.25
		Birdsmouth	2	0.2	0.4
					1.25
Grand Total					184

Foto 4 Hamlet Heavy Timberwork'i ajamahupakkumise arvutus Exceli tabeli kujul katsekonstruktsiooni ehitusele. (Allikas: Hamlet Heavy Timberwork)

2.2 Haystack Joinery

Aeg: 2013. aasta juuli-august.

Asukoht: Montville, Maine, Ameerika Ühendriigid.

Ettevõtte oskusteabe päritolu: Ameerika Ühendriigid ja Prantsusmaa (*Compagnon*).

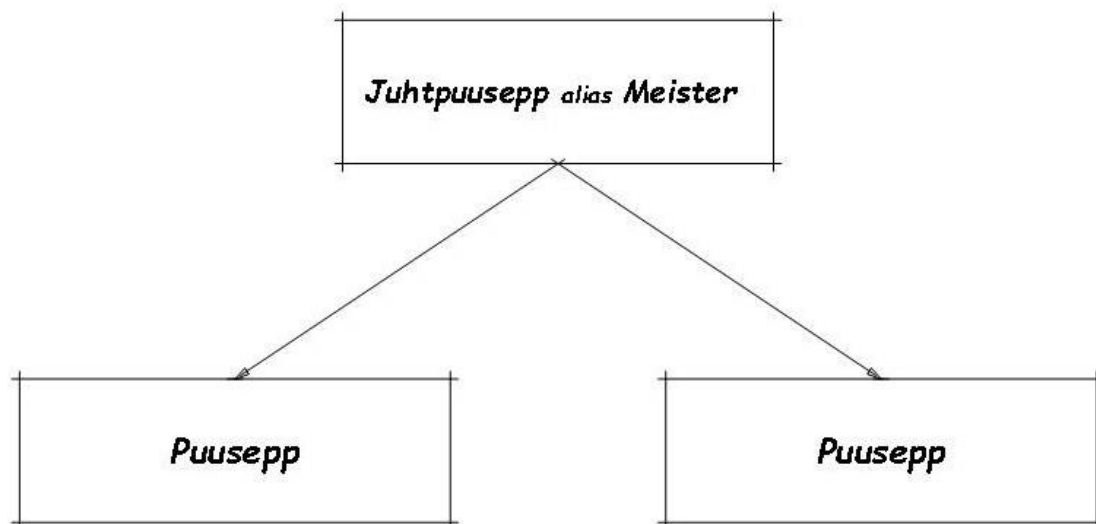
Töökoja kirjeldus: Pool (ca 110m²) Haystack Joinery tootmispinnast asus välikeskkonnas. Teine pool (ca 100m²) tootmispinnast oli välikeskkonnast eraldatud, lukustatav ja vajadusel köetav. Töökojas puudusid olme- ja kontoriruumid. WC asus töökoja kõrval asuvas hoones. Konstruktsioonidetaile liigutati inimjõul, kasutades selle tarvis kohandatud mehhanisme. Tööriistu hoiustati lukustamata laoruumis. Töökoja ilmastikust sõltumatu tööplats on jäädvustatud fotol nr 5.



Foto 5 Haystack Joinery ilmastikust sõltumatu 1/2 tööplats. Autori foto, 2013

2.2.1 Meeskonnatöö ülesehitus

Haystack Joinery oli mestripõhine ettevõtte, mille tegevust juhatas meisterpuusepp Raivo Vihman. Raivo haldas nii tööjooniste koostamist koos ehitusmahtude kalkuleerimisega kui ka projektipõhise meeskonnatöö ülesehitust. Projektipõhine meeskond komplekteeriti puuseppadest, kellega Raivol oli varasemalt olnud edukas koostöö. Statsionaarse ehitusmeeskonnata tegutsemine toetus mitmetest puuseppadest koosnenud koostöövõrgustikule, kellega võeti suuremahuliste vahvärkkonstruktsioonide ehitusele eelnevalt ühendust ning sõlmiti vastastikku sobivad lepingud. Ehitustegevusi viidi läbi projektipõhiselt kahe- kuni kolmeliikmeliste meeskondadena, mille ülesehitus toetus juhtpuusepal ehk meistril (vt joonis nr 13). Suuremahulise konstruktsiooni ehitamisel märkis juhtpuusepp tappe ja ülejäänud puusepad viisid läbi lõikeoperatsioone. Juhtpuusepa olemasolu ei vähendanud tervikmeeskonna vastutust konstruktsiooni kvaliteetse tulemi eest. Igal puusepal oli kohustus enne ehituse algust tutvuda ehitatava konstruktsioonilahenduse ja esitatud ajamahupakkumisega vältimaks tootmishälbeid ehitusprotsessi vältel. Tootmishälvete all mõeldi valesti märgitud või lõigatud tappe, mille likvideerimiseks tuli kulutada lisaaega.



Joonis 13 Haystack Joinery ja Chapmann Buildingu projektipõhise meeskonna üleehtus. Autori joonis

Steve Chappell, pikaaegne vahvärkpuusepp, on kirjutanud juhtpuusepa eelisest, millest peamine on võimalus tõsta tootmisprotsessi efektiivsust. Juhtpuusepa olemasolu vähendab eksimuste tõenäosust tappühenduste märkimisel, ning tootmisalal tekkida võivat märke- ja lõikeprotsesside segadust. Kuid samas peab ta oluliseks, et kõik puusepad mõistaksid üheselt ehitatava konstruktsiooni ülesehitust – vastutatakse võrdväärsel tasemel kogu ehitusprotsessi ulatuses. Tootlikkuse kasvule suunatud tööskeem eeldab puuseppade valmidust viia läbi topelt kontroll enne kui asutakse lõikeoperatsioone läbi viima. (Chappell 2007, lk 157)

2.2.2 Märke- ja lõikemeetodid

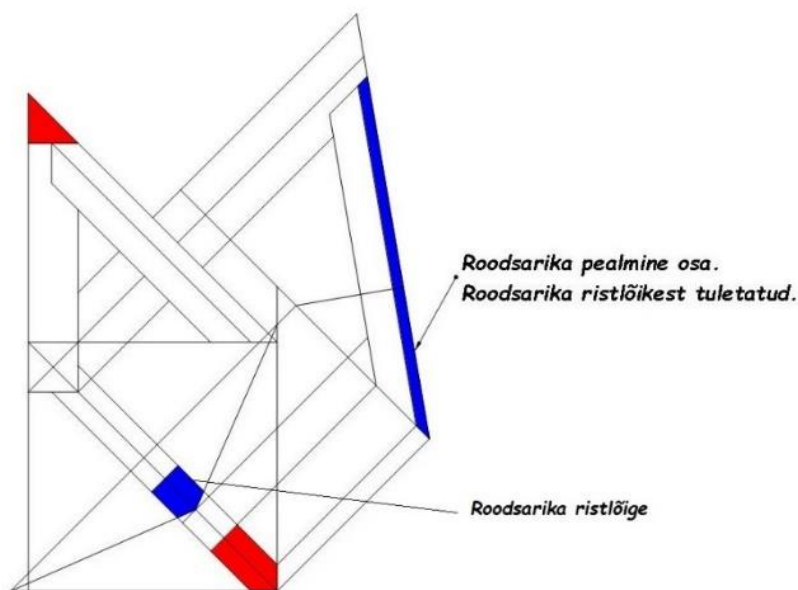
Märkemeetodid. Haystack Joinery meister, Raivo Vihman, kasutas traditsioonipõhiste vahvärkkonstruktsioonide ehitamisel kahte ehitustehnoloogiat: kujutaval geomeetrial (ing k descriptive geometry või developed drawing) tuginevat ehitusmeetodit ja nurgikmeetodit (ing k square-rule).

Konstruktsioonidetailide märgistamisel kasutati Hamlet Heavy Timberworkile sarnast märgistamissüsteemi ülesehitust (vt joonis nr 5), mis erines ainult konstruktsioonidetailide märgistamisel kasutatud tähistest. Kui Hamletis määrati detaili asukoht kriipsude ja poolkuude abil, siis Haystack Joinerys asendati need rooma- ja araabianumbrite kombinatsioonidega. Konstruktsiooni märkimist alustati sarnaselt Hamletile – valiti üks

nurgapost, millelt ehitati üles kogu ehitatava vahvärkkonstruktsiooni märgisüsteem. Detailide märgistamist viis läbi juhtpuusepp märkides keeltapi tapikeelele või selle süvendisse veekindla markeri, pastaka või rasvakriidiga konstruktsioonidetaili asukohta määrava tähise.

Haystack Joinerys kasutatud *kujutava geomeetria meetod* võimaldas 2D projektsioonilt tuletada (aretada) soovitud vaadete ja lõigete projektsioone: näiteks luipsarika asukohtade lõiketasapindasid roodsarikal (vt fotot nr 14). Kujutavat geomeetriat kasutades jagunes Haystack Joinerys märkeprotsess kaheks etapiks – esmalt joonistati töötasapinnale 1:1 mõõtkavas 2D projektsioon. Sellest tuletati soovitud vaated ja lõiketasapinnad, mis teises märkeprotsessi etapis kanti (*lofting*) töötasapinnale asetatud konstruktsioonidetaili toorikule.

Kujutavat geomeetriat kasutades tuletati roodsarika külgvaatest selle ristlõige, mille najal tuletati omakorda roodsarika pealmise osa kaldpindade geomeetria ja kaldnurgad (vt joonis nr 14).



Joonis 14 Kujutav geomeetria. Roodsarika pealmise osa kaldpindade tuletamine selle ristlõikest Haystack Joinerys.

Autori joonis

Teise märkemeetodina ehitusprusside märkimisel rakendas Raivo nurgikmeetodit (ing k *square rule method*). Nurgikmeetodit kasutades ehitati vahvärkkonstruktsioon detail detaili haaval üles. Selle tarvis kasutati märkenööri, puusepanurgikut ja konstruktsioonidetailide mõõtude kalkuleerimiseks matemaatikat. Seega nõrloodi meetodile omane *loftingu* kasutamine ei olnud

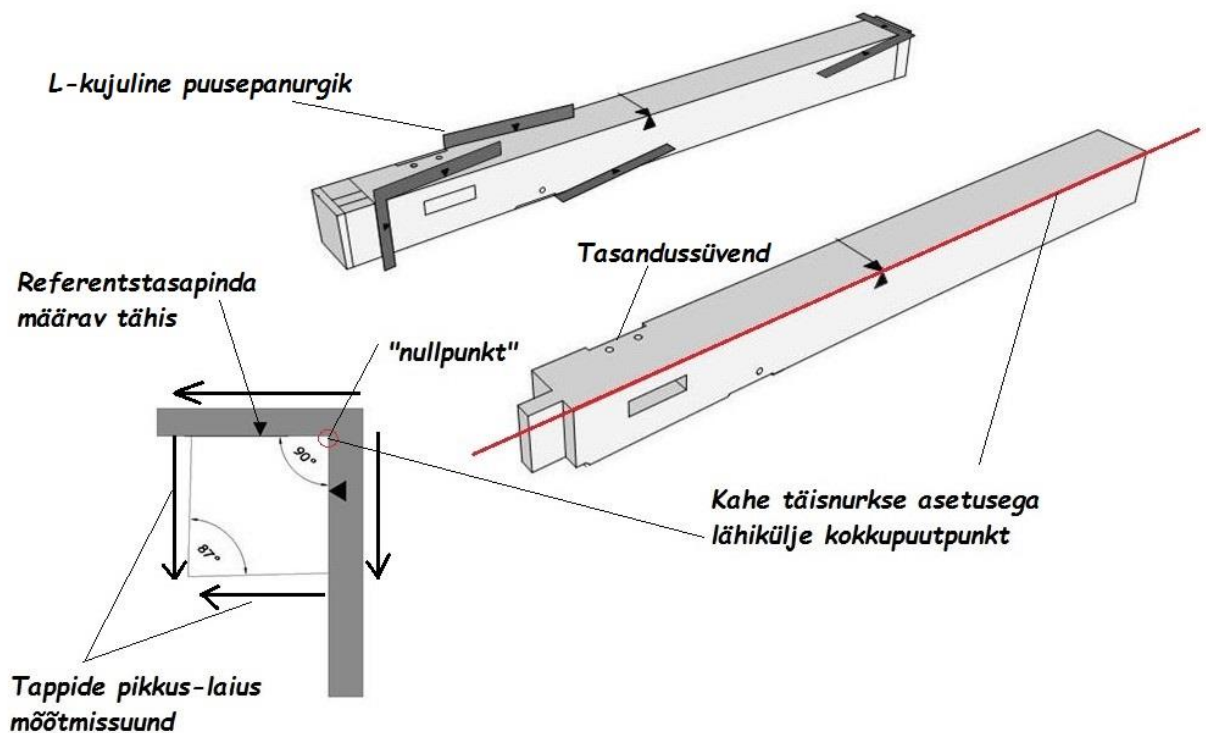
tarvilik. Kõik tappühendused märgiti täisnurkselt, kasutades selle tarvis prussidele määratud täisnurkse asetusega referentstasapindasid (vt joonist nr 15) ja L-kujulist puusepanurgikut (ing k *the carpenter`s steel square*). Puusepanurgikut kasutades mõõdeti referentstasapindadelt tappide pikkus-laius mõõdud ja vajadusel tasandussüvendeid (ing k *housings*). Tasandussüvendite eesmärk oli neutraliseerida kasutatava prussi ebakorrapärasused, mis tulenesid näiteks ebaühtlasest saekaatrireenuse kvaliteedist või prussi kõverdumisest selle kuivamisel. Erinevalt nõorloodi meetodist, kus konstruktsioonidetail tuleb enne tappide märkimist nii vertikaal- kui horisontaalsuunal loodi asetada, pole nurgikmeetodi puhul seda tarvis. Seda põhjusel, et referentstasapindadelt mõõdetuna asetuvad loodavad tapid automaatselt loodi.

Referentstasapindadelt tappide mõõtmist ja märkimist teostati L-kujulise puusepanurgikuga, mille pikim haar asetusega alati referentstasapinnal. Referentstasapindadelt tappide pikkus-laius mõõtmisel järgiti kindlaid märkesuundasid, mille mõtteliseks „nullpunktiks“ loeti kahe täisnurkse asetusega lähikülje kokkupuute punkti (vt joonis nr 15). Referentstasapinnad tähistati tähisega ▲(kolmnurk). Oluline oli, et tappide märkimisel lähtutaks järjekindlalt määratud referentstasapindadest ega kasutaks selle tarvis mittevajalikke külgi.

Lõiketasapindade esile toomiseks kasutas Raivo prantsusepärast lõikealasid tähistavat märgisüsteemi, mis koosnes ringidest O ja kaldkriipsudest / . Ring tähistas reguleeritud lõikesügavust. See tähendab seda, et enne lõike sooritamist pidi visuaalselt fikseerima juhtpuusepa ehk Raivo poolt dikteeritud lõikesügavuse, alles seejärel võis sooritada lõikeoperatsiooni vajamineval lõikesügavusel. Kaldkriips tähistas konstruktsioonidetaili läbivat lõiget.



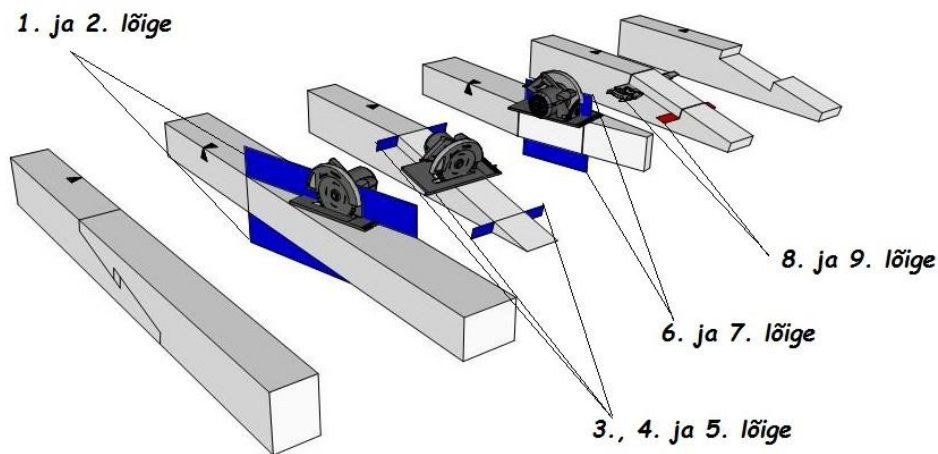
Foto 6 Haystack Joinerys kasutatud lõikealasid esile toov märgisüsteem. Autori foto, 2013



Joonis 15 Nurgikmeetodi ülesehitus. Referentstasapinnad ja tappide pikkus-laius mõõtmissuund. Autori joonis

Lõikemeetodid. Lõikeoperatsioone läbiviies sooritas Raivo ühe ketassae lõikesügavusega võimalikult palju lõikeid. Lõikeoperatsioone alustas ta alati kõrgemast sügavusest. Lõikeoperatsioonid olid võimalikult täpsed ja väheste lõikesooritustega vähendamaks järeltöötuse mahtu tapiäärte või -põhjade peitliga viimistlemine. „Hollandi tapp“ alias kiiluga hammaskaldlukuga jätkseotise (Veski 1948, lk 176) väljasaagimisel kasutas Raivo seitset ketassaelõiget ja kahte käsisaelõiget (vt joonis nr 16). Jätkseotise pikilõigete (sh diagonaalsed lõiked) sooritamisel kasutas Raivo võimalikult laia hambaga ketassae ketast. Lai lõikehammas tagas parema kontrolli saeketta liikumise.

Hollandi tapi alias hammaskaldlukuga jätkseotise lõikamine



Joonis 16 Hammaskaldlukuga jätkseotise lõikamise lõigete järjekord. 1. kuni 7. lõige ketassaega ning 8. ja 9. lõige käsi(vuks)saega. Viimistlus peitliga. Autori joonis

Sügavamate keeltapi tapikeelte süvendite süvistamisel kasutas Raivo tapifreesi, madalamate (tasandus)süvendite süvistamisel laiapõhjalist ülafreesi koos sobivate šabloonidega. Foto nr 7 kirjeldab Haystack Joinerys süvendite süvistamise lõikeprotseduure koos selle tarvis vajaminevate tööriistakäsitlustega. Ülafreesi efektiivne kasutus eeldas, et tapitava prussi neli külge oleksid omavahel täisnurkse asetusega, mis võimaldas omakorda ülafreesi täisnurkset asetamist prussi tasapinnale, kus asus freesitav tapisüvend.



Foto 7 a) Keeltapi sügavama tapikeele süvendi freesimine (süvistamine) tapifreesiga. b) Keeltapi madalama tapikeele süvendi freesimine ülafreesiga. c) Madalama süvendi freesimisel kasutatud abišabloon. d) Valminud keeltapi tapikeele süvend. Autori foto, 2013

2.2.3 Tööriistapark

Haystack Joinerys kasutatudööriistapark sarnanes ülesehituselt Hamlet Heavy Timberworkis kasutatule, kuid erines hulga ja tehnilise võimsuse poolest. Kui näiteks Hamletis kasutati prusside transportimisel tööpatsil elektritoitel töötavat kahveltõstukit, siis Raivo juures kasutati inimjõul liigutatavat kuni 225 kg kandevõimega prussikäru (ing k *timber cart*), mida illustreerib foto nr 8. Prussikäru suured ja tugevad rattad võimaldasid tööülesandeid täita nii siledal kui ka ebatasasel (nt künklik heinamaa) tööplatsil. Nii nagu Hamletis kasutati ka Haystack Joinerys isiklikke tööriistu tootmistegevuste läbiviimisel.

Siinkohal soovingi anda lühiülevaate mõningatest minu jaoks uudseid kasutusvõimalusi pakkunudööriistadest. Lisast nr 2 leiab täpsema Haystack Joinerys kasutatudööriistapargi loetelu.



Foto 8 Haystack Joinerys kasutust leidnud prussikäru (ing k *timber cart*). Autori foto, 2013

Keeltappide viimistlemisel ja ettelöömisel kasutati igapäevaselt kolmes laiuses pikki *Barr'i* tapi-ehk puraskpeitleid: 25mm, 38mm ja 50mm (vt fotot nr 9). Lisaks neile leidsid kasutust veel tislari kumerpeitlid, mille kasutussagedus sõltus kumerate pindade olemasolust.



Foto 9 Pikad purakspeitlid. Tootja Barr, Ameerika Ühendriigid. Autori foto, 2013

Uus avastus tööriista kasutuses oli vanakooli *Stanley* käsihöövli rakendamine keeltapi tapikeelte viimistlemisel. Kasutatud käsihöövli eeliseks oli selle raami risti läbiv lõiketera, mis võimaldas efektiivsemat tapikeele sisenurkade viimistlemist (vt fotot nr 10)



Foto 10 Läbiva teraga Stanley höövel. Käsihöövli raami läbiv lõiketera on tähistatud punase ringiga. Autori foto,

2013

Keeltappi fikseerivate puupunni aukude puurimisel kasutati Makita elektritrelli koos puurimisrakisega. Aukude puurimiseks kasutati erinevate diameetritega kolme löiketeraga spiraalpuure, mis võimaldasid puurida väga täpseid ja sügavaid auke (vt foto nr 11)



Foto 11 Puupunni aukude puurimisel kasutatud Makita elektritrell koos puurimisrakise (b) ja kolme löiketeraga spiraalpuur (a). Autori foto, 2013

Vajamineva puitmaterjali suuremamahulist saagimist teostati ettevõttele kuuluvale mobiilse diiselmootoril töötava Wood-Mizer (vt joonis nr 12) lintsaeraamiga (LT70 vanem versioon).



Foto 12 Wood-Mizer lintsaeraam. Autori foto, 2013

2.2.4 Tootmistegevust toetavad arvutiprogrammid

Haystack Joinerys kasutati tootmistegevust toetava arvutiprogrammina AutoCad joonestamisprogrammi. Programmi tarvitati nii eskiis- kui ka tööjooniste koostamisel. Jäi mõnevõrra segaseks, mis kujul kalkuleeriti vajamineva puitmaterjali mahtusid – kas selleks kasutati mõnda tabelarvutusprogrammi nagu Hamletis või piirdusid Raivo mahu- ja tööaja arvutused paberi ja pliiatsiga. Raivo sõnul soovis ta AutoCad programmi vahetada SketchUp Pro vastu, mida kasutati edukalt Hamlet Heavy Timberworkis traditsioonipõhiste vahvärkkonstruktsioonide projekteerimisel, ning mis võimaldas samamoodi nagu AutoCad modelleerida 3D konstruktsiooni koos vajaminevate materjali- ja ajamahu kalkulatsioonidega.

2.3 Chapman Building

Aeg: 16.07-23.07.2013

Asukoht: Edgecom, Maine, Ameerika Ühendriigid.

Ettevõtte oskusteabe päritolu: Ameerika Ühendriigid.

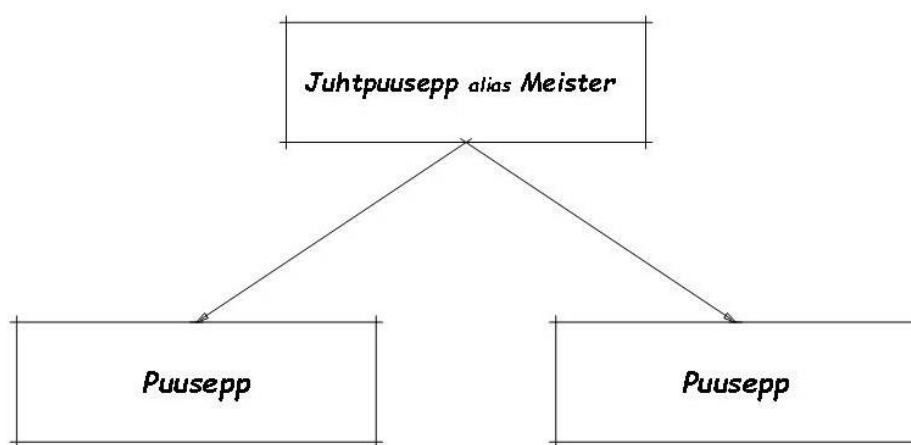
Töökoja kirjeldus: Chapman Buildingu ehitustegevus sõltus täielikult välikeskkonnast, puudus statsionaarne katusealune, kus saanuks sademete korral ehitustegevust jätkata. Tööplatsil puudusid mehhaniseeritud tõstemehhanismid. Konstruktsioonidetaile liigutati inimjõul asetades eelnevalt tööpukid vajalikku asendisse. WC asus tööplatsi kõrval asuvas elumajas. Tööriistu hoiustati lukustatavas väikehoones, mida jagati kanadega. Tööplatsi ülesehitust illustreerib foto nr 13.



Foto 13 Chapmann Buildingu tööplats. Autori foto, 2013

2.3.1 Meeskonnatöö ülesehitus

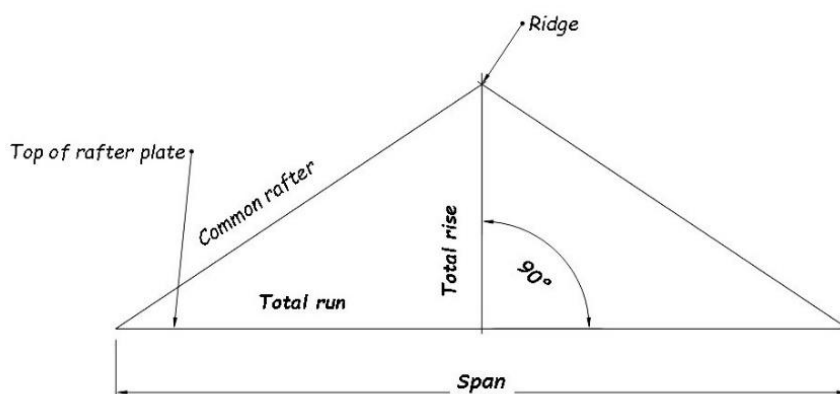
Chapmann Buildingu meeskonnatööd juhtis ettevõtte omanik Travis Chapmann, kes oli ühtlasi ka juhtpuusepa rollis. Travise ettevõtte sarnanes suures ulatuses Haystack Joinery meeskonna ülesehitusega – ehitusmeeskond komplekteeriti projektipõhiselt. Tööplatsi rollid ja vastutusalad ehitusid üles juhtpuusepa juhtimisele ning projektipõhiselt kaasatud meeskonnaliikmetele (vt joonis nr 17). Nii nagu Haystack Joinerys, koostas Travis juhtpuusepana vajadusel ehitusjooniseid ning kalkuleeris vajamineva materjali- ja tööajamahtu. Projektipõhisel ehitamisel oli meeskonna suurus kuni kolm meest: juhtpuusepp ja kaks puuseppa.



Joonis 17 Chapmann Buildingu meeskonna ülesehitus. Autori joonis

2.3.2 Märke- ja lõikemeetodid

Märkemeetodid. Chapmann Buildingus kasutati samuti nurgikmeetodil tuginevat märkemeetodit. Erinevalt Haystack Joineryst lahendas Travis nurgikmeetodil ka katusekonstruktsiooni ehituse, kasutades selle tarvis trigonomeetria ehk kolmnurga külgede ja nurkade seoseid. Katuse konstruktsioonidetailide pikkuste, lõikenurkade ja koguste arvutamise aluseks oli täisnurkne kolmnurk, mis jagunes kolmeks osaks: total run, total rise ja common rafter. (Gross 2005, lk 9)



Joonis 18 Trigonomeetria. Täisnurkne kolmnurk. Autori joonis (Allikas: Gross 2005, lk 9)

Total run on $\frac{1}{2}$ viilkatuse maksimaalsest laiuusest (ing k *span*). *Span* jagatakse arvutuste lihtsustamiseks kaheks *total runiks*. *Total rise* on lõik katuse harjast vertikaalselt alla maksimaalse laiuse keskpunkti, mille puhul võetakse referentsiks vööprussi ülemine tasapind. *Common rafter length* on räästata sarika pikkus murispuu ülemiselt tasapinnalt (ing k *top of rafter plate*) katuseharja tippu (ing k *ridge*). (Gross 2005, lk 9)

Konstruktsioonidetailide märgistamine sarnanes Haystack Joineryst ja Hamletis kasutatule – valiti üks nurgapost, millelt ehitati üles kogu ehitatava vahvärkkonstruktsiooni märgisüsteem. Lõiketasapindade esile toomiseks kasutas Travis pigem Hamletile omast märkeviisi: pidejooned, katkendjooned jne. Puudus Haystack Joineryle omane lõikealasid esile toov kindel süsteem. Nurgikmeetodil lahendati Chapman Buildingus ka puupunni aukude märkimine (vt fotot nr 14), mis oma ülesehituselt hõlmas L-kujulise puusepanurgiku asetamisega tapikeelele. Travis kutsus puusepanurgikuga puupunni aukude tähistamist „küüniehitusemeetodiks“, mida iseloomustab puusepanurgikul tuginevate kiirvõtete rohkus vahvärkkonstruktsiooni ehitamisel.

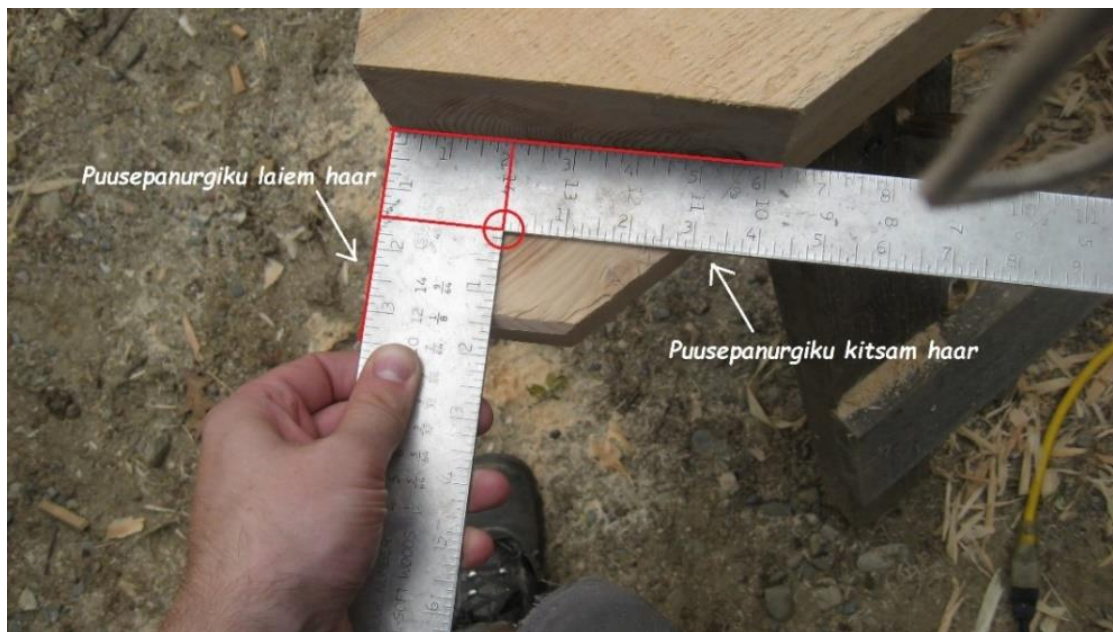


Foto 14 Puusepanurgiku kasutamine puupunni augu märkimisel tapikeelele. Autori foto, 2013

Kuna Champann Buildingus ehitati traditsioonipõhiseid vahvärkkonstruktsioone üldjuhul standardiseeritud mõõtudega prussidest (nt 8x8 tolli), siis nendega töötamisel kasutati ehitusprotsessi kiirendavat märkešablooni *Borneman Layout Template* (vt fotot nr 15), millel olid etteantud tappide sügavus- ja kõrgusmõõdud. Laiusmõõtude märkimisel tuli kasutada lisaks mõõdulinti või puusepanurgikut. Tappide märkimist viidi läbi nurgikmeetodile omaselt kasutades referentstasapindasid.

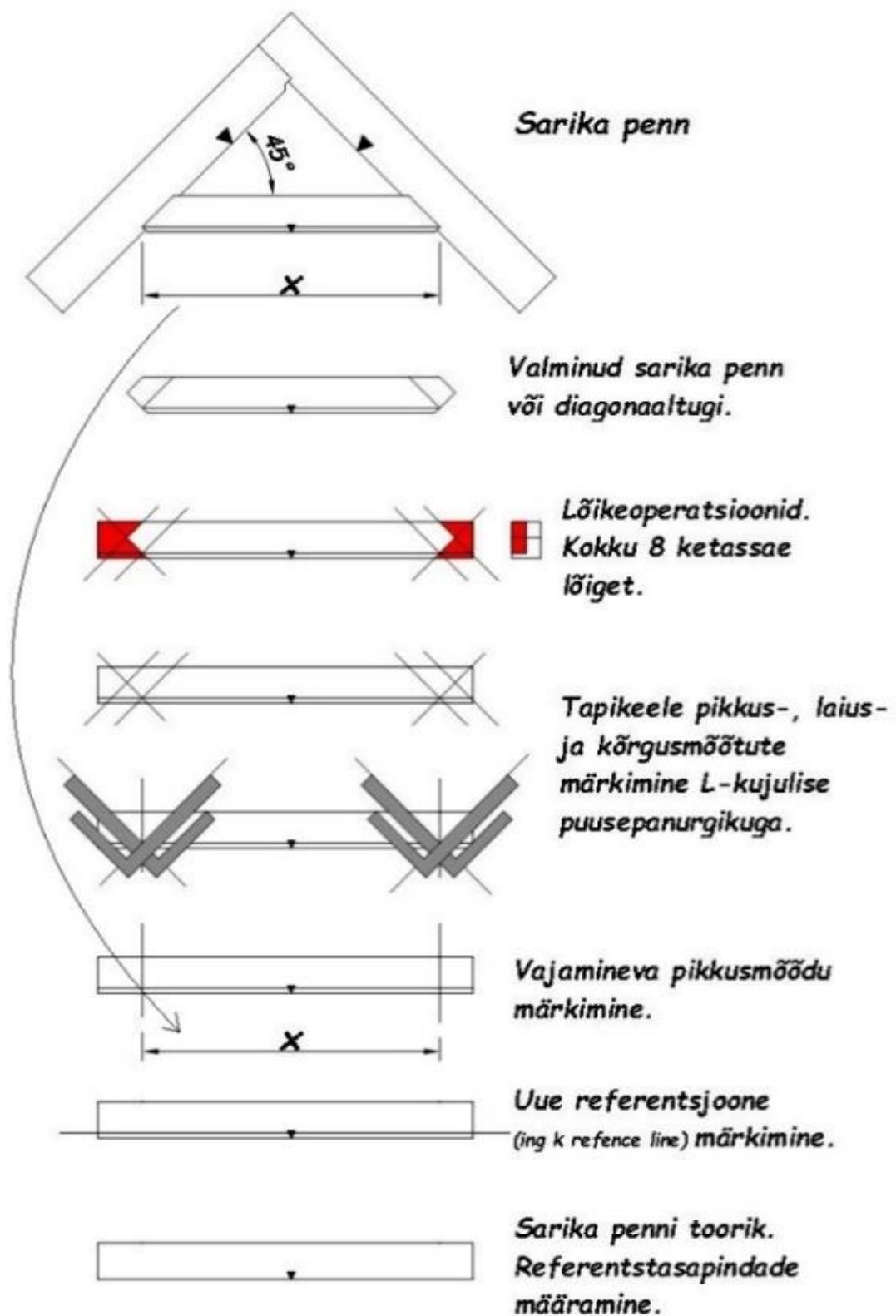


Foto 15 Märkešabloon *Borneman Layout Template*. Autori foto, 2013

Lõikemeetodid. Travis Chapmann kasutas diagonaaltugede lõikamisel minu jaoks uudset lõikemeetodid, mida Hamlet Heavy Timberworks ja Haystack Joinerys ei kohanud. See tugineb „1 kord mõõda ja 8 korda lõika“ põhimõttel. See tähendab seda, et vahvärkkonstruktsioonis olevate 45° asetusega diagonaaltugede ja sarikapennide valmistamiseks kasutab puusepp ühte pikkusmõõtu. Ühe pikkusmõõdu najal on võimalik üles ehitada tervikprotsess diagonaaltugede märkimiseks ja lõikamiseks. Ehk puusepanurgikut kasutades on võimalik ühest pikkusmõõdust tuletada järgmisi märkimisetappe. 8 lõike läbiviimiseks on olenevalt diagonaaltöe keele pikkusest vaja sobiva sügavusvõimekusega ketassaagi. Eesmärk on teha võimalikult vähe lõikeid võimalikult lühikese ajaga. Travise sõnul lõikab ta 8 lõikemeetodil (koos märkimisega) 5-6 diagonaaltuge tunnis. Joonis nr 19 kirjeldab Travise poolt kasutatud lõikemeetodit diagonaaltugede ja sarikapennide lõikamisel.

1. märkeetapis, nagu nurgikmeetodile kohane, valitakse konstruktsioonidetaili toorikule referentstasapinnad ning need markeeritakse. 2. märkeetapis lisatakse märkenõõriga uus nulljoon (ing k *reference line*), millele mõõdetakse 3. märkeetapis vajaminev diagonaaltöe pikkusmõõt. 4. märkeetapis märgitakse puusepanurgikuga diagonaaltöe tapikeele pikkus-, laius- ja kõrgusmõõdud ning 5. etapis asutakse läbi viima lõikeoperatsioone tapikeelte välja lõikamiseks.

Travise eesmärk oli samuti teha võimalikult vähe lõikesooritusi keeltapi erinevate osade väljasaagimisel ning ta püüdis jälgida enda poolt seatud põhimõtet: mida vähem peitlitööd konstruktsioonitappide valmistamisel tehakse, seda väiksem on ehituse ajakulu.



Joonis 19 Travis Chapmanni poolt kasutatud märke- ja lõikemeetod diagonaaltugede ja sarikapennide valmistamiseks. Autori joonis

2.3.3 Tööriistapark

Chapmann Buildingus kasutatudööriistapark sarnanes suuremalt jaolt Haystack Joinery omaga. Erines see selles osas, et Chapmann Buildingul puudus isiklik saekaater ehitustegevuse tarvis vajamineva saematerjali lõikamiseks. Lisaks puudusid ettevõttel abimehhanismid prusside transportimiseks ja tõstmiseks tööplatsi perimeetris nagu seda oli kahel eelneval ettevõttel. Täpsema ülevaate Chapmann Buildingus kasutusel olnudööriistapargist leiab magistritöö lisas nr 2.

2.3.4 Tootmistegevust toetavad arvutiprogrammid

Travis Chapmann kasutas vajaminevate ehitusmahtude kalkuleerimiseks „Construction Master Pro“ kalkulaatorit, mis võimaldas töödelda vahvärkkonstruktsiooni ehitusega seonduvat informatsiooni. Näiteks katuse tasapindade ruutmeetrite ja vajamineva puitmaterjali mahuarvutamisel kasutas Travis just „Construction Master Prod“. Seega ei vajanud ta ehitustegevuse läbiviimiseks joonestusprogrammis loodud 3D mudelil baseeruvat informatsiooni. Oluline oli, et joonistele, mida Travis kasutas, oleksid märgitud põhilised pikkus-, laius- ja kõrgusmõõdud. Info talletati pastapliiatsiga ehitusmärkmikusse, mida kasutati kogu ehitusperioodi vältel.

3. KATSEKONSTRUKTSIOONI EHTUS

Aeg: 2014. aasta talv.

Asukoht: Loodi mõis, Viljandi vald, Viljandi maakond.

Oskusteabe päritolu: Kanada, Ameerika Ühendriigid ja Prantsusmaa.

Töökoja kirjeldus: Tööplats asus Loodi mõisa tallihoones. Ilmastikust sõltumatu. Tööplatsil paiknes elementaarne valgustus, ruum ei olnud köetav. Tööriistu hoiustasin lukustatavas MTÜ Rahvusliku Ehituse Seltsi töökojas, tallihoonest eraldi. Ruum oli lukustatav ja köetav. Tööplats on jäädvustatud fotol nr 15.



Foto 15 Loodi mõisa tallihoones olnud tööplats katsekonstruktsiooni ehituseks. Autori foto, 2014

3.1 Katsekonstruktsiooni ettevalmistustööd

Asukoha otsingud. Katsekonstruktsiooni asukoha otsingu sidusin sooviga leida magistritöö praktilisele poolele rahastaja, kes nõustuks konstruktsiooni ehitusele seatud tingimustega. Konstruktsioonilahendus peab olema üles ehitatud viisil, mis võimaldaks läbi viia korrapäraseid ajamõõtmisi nii detaili-, sektsiooni- ja terviktasandil kogu ehitusperioodi vältel minule sobivas kohas. Seega välistasin võimalused, mis eeldasid ehitustegevust väljaspool Loodi mõisa tööplatsi. Asukoha otsingud kandsid vilja. 2013. aasta veebruaris sõlmisin kokkuleppe Põlvamaal asuva Kolli talu noorperemehe Kristjan Korts-Lindusega katsekonstruktsiooni ehituse rahastamiseks. Sõlmitud kokkulepe sisaldas vahvärkkonstruktsioonil tugineva magamisplatvormidega väliköögi rajamist vana lauda maakivivundamendile (vt fotod nr 16).



Foto 16 Kolli talu vana lauda osaliselt taastatud maakivivundament. Autori foto, 2013

2013. aasta märtsikuus edastati mulle olemasoleva vundamendi perimeetrid, millele tuginedes oli mul võimalus luua eskiislahendus, mis ühilduks nii minu kui pererahva soovidega. Heakskiit loodud konstruktsiooni eskiislahendusele andis edasised suunised tööjooniste koostamiseks ning vajamineva materjali mahukalkulatsioonideks ja orienteeruva ehitusaja planeerimiseks.

Tööjooniste koostamine. Tööjooniste koostamisel võtsin aluseks varasema kogemuse ja osalusvaatluste vältel ning hilisema analüüsi käigus omandatu. Seadsin endale katsekonstruktsiooni ehitamiseks ehitustehnoloogilised põhimõtted. Olen seisukohal, et tööjooniste koostaja peaks tundma ehitustehnoloogiaid ja -protsesse, millele toetudes vahvärkkonstruktsiooni ehitustegevusi planeeritakse ja läbi viiakse. Olgu selleks siis vajamineva

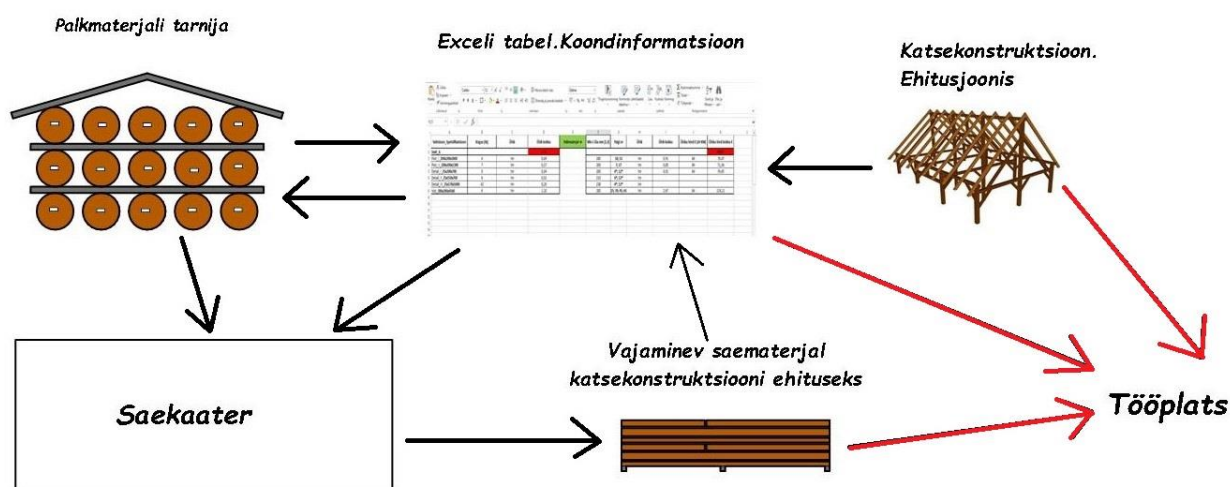
puitmaterjali hankimine palgist ehitusprussini või siis vahvärkkonstruktsiooni ehitusega seotud märke- ja lõikemeetodite kasutusviisid. Oskuslik ehitusjoonestaja tunneb ja oskab end kaasata ehitusprotsesside ülesehitusse ning tagab ehitusjoonistega töö sujuva ja efektiivse kulgemise tööplatsil. Antud seisukohast lähtudes soovisin koostada katsekonstruktsiooni ehitustegevuseks sobiva infokontsentratsiooniga tööjooniseid. Kuna tööjooniste koostamisel puudus mul selge arusaam, missugune peaks olema sellega kaasaskäiv infomaht, siis otsustasin, et seon tööjooniste koostamise katsekonstruktsiooni ehitustegevusega. See võimaldas ehitustegevuse käigus konkretiseerida tööjooniste ülesehitust. Täpsema ülevaate katsekonstruktsiooni ehitust toetanud ehitustehnoloogia valikutest ja nende sidumisest tööjoonistega annan magistritöö lõike- ja märkemeetodite alapeatükis.

Palgist ehitusprussini. Katsekonstruktsiooni ehituseks vajamineva puitmaterjali hankimine koosnes 5 üksteisest sõltuvast lülis. Kõige aluseks oli arvutil konstrueeritud katsekonstruktsiooni 3D mudel, mis sisaldas ehituseks piisavalt vajalikku informatsiooni vajamineva saematerjali hankeks. 3D mudelis sisalduva informatsiooni koondasin Microsoft Exceli tabelarvutusprogrammi, millele tuginedes oli võimalik välja arvutada optimaalse ladvadiameetriga vajaminevad ehituspalgid, mis annaksid prussiks lõigatuna soovitud ristlõike. Selle informatsiooni najal võtsin ühendust palkmaterjali tarnijaga, kes oli koondanud müügis olevad palgid ühtsesse palgitabelisse, mis hõlmas palkide pikkus-, tüve- ja ladvamõõte. Palgitabelis oli veel välja toodud palgi keskmine koone 1 meetri kohta. Tarnija poolt saadetud palgitabelit hakkasin sobitama katsekonstruktsiooni ehituseks vajamineva materjalikuluga. Kooskõlastused leitud tagastasin tarnijale palgitabeli koos minu poolt tähistatud palkidega, mida soovisin osta ehitustegevuse läbiviimiseks.

Järgmise etapina edastasin kahest tabelist koosneva koondtabeli saekaatriisse. Koontabel sisaldas informatsiooni lõigatavatest palkidest. Täpsustuseks ütlen, et saekaatriisse saadetud palgid olid kodeeritud, mis lihtsustas saekaatri teenust osutaval operaatori arusaamist millisest palgist milline pruss lõigata. Kui palk numbrimärgiga 12 asetati saeraamile, siis saekaatri operaator teadis, et antud palgist tuleb lõigata üks 6 meetri pikkune 175x175mm ristlõikega pruss.

Saekaatri teenust osutavale operaatorile seadsin nõudeks, et iga lõigatava prussi 2 lähikülge oleksid omavahel 90° asetusega. Seda põhjusel, et kasutasin katsekonstruktsiooni ehitusel nurgikmeetodil tuginevat ehitustehnoloogiat ning soovisin vältida mittetäisnurkse asetusega

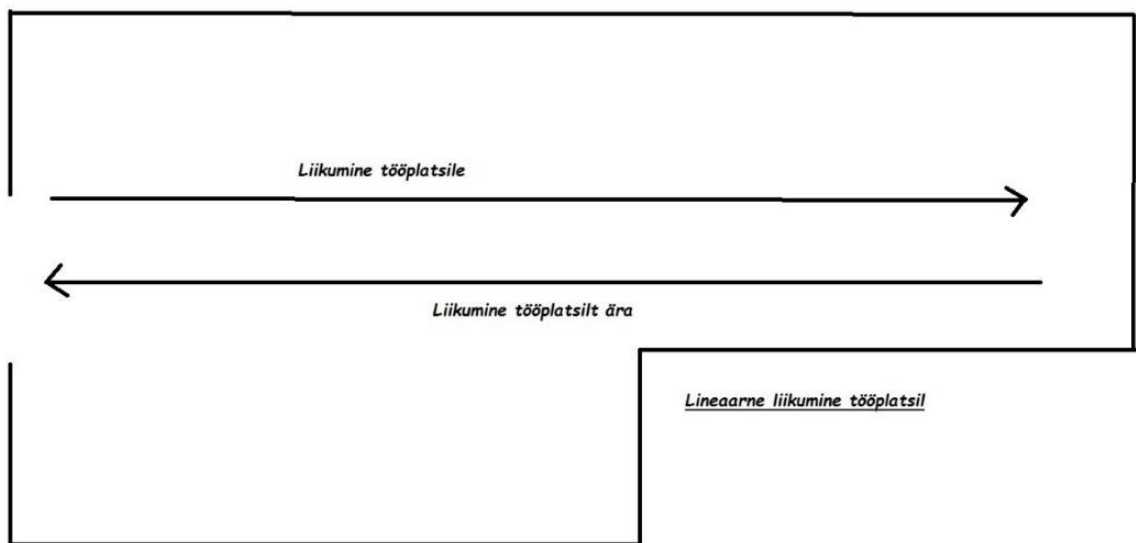
prusside eraldi töötlemist nurgikmeetodile ehituskõlblikuks nagu seda tehti Haystack Joinerys ja Chapman Buildingus.



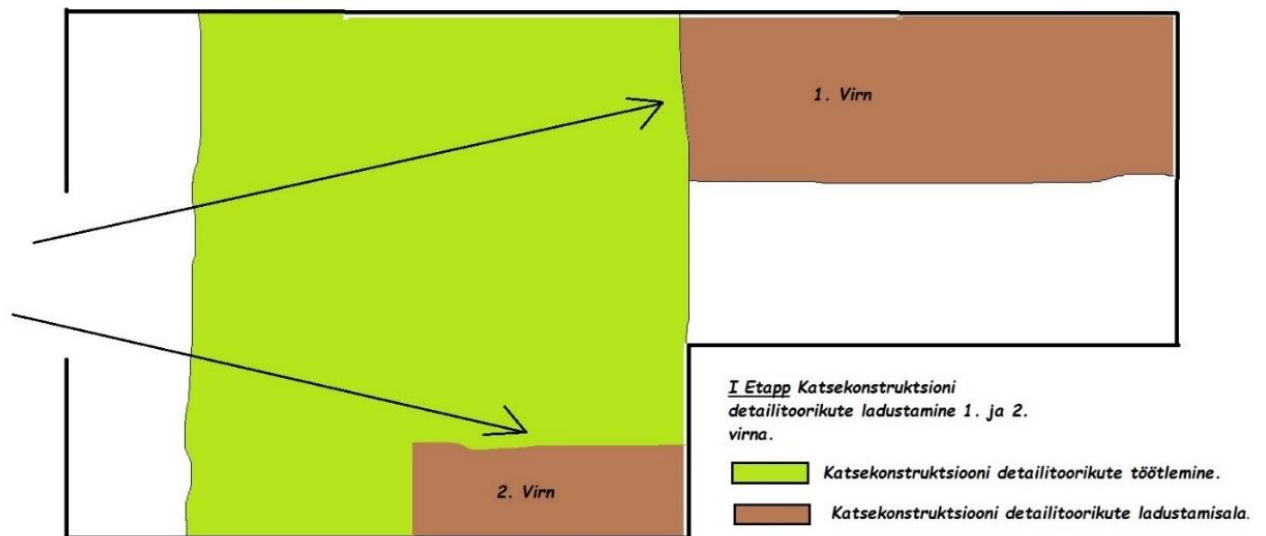
Joonis 19 Katsekonstruktsiooni ehituseks vajamineva saematerjali tarneahelat illustreeriv joonis. Autori joonis

Tööplatsi ülesehitus. Tööplatsi organiseerimisel tuginesin katsekonstruktsiooni ehitamisel kasutatavale ehitustehnoloogiale ja minu kasutuses olnud tööriistapargile. Soovisin, et töökeskkond oleks üles ehitatud viisil, mis ei kahjustaks minu tervist ega seaks ohtu töövälisel ajal tööplatsil liikuvaid kolleege. Katsekonstruktsiooni ehituseks vajamineva materjali ladustamist viisin läbi selliselt, mis võimaldaks nende lineaarset kulgemist (vt joonis nr 20) tööprotsesside läbiviimisel kogu tööplatsi ulatuses. Inspiratsiooni lineaarseks kulgemiseks ammutasin M. Charles illustratsioonist, kus ta visandab konstruktsioonidetailide liikumist toorikust valmis detailini (Charles 2003, lk 67). Kuigi illustratsioonil kujutatud tööplatsikorraldus on üles ehitatud vahvärkkonstruktsiooni taastamisprotsessidele nõorloodmeetodil, leidsin sealt siiski ideid tööplatsi korraldamisele. Sealt tuligi mõte jagata tööplats mõttelisteks aladeks, kus, mida ja kuidas plaanin teha. See lähenemisviis aitas paremini siduda Loodi mõisa tallihoones olevat tööplatsi magistritöö eesmärgiga.

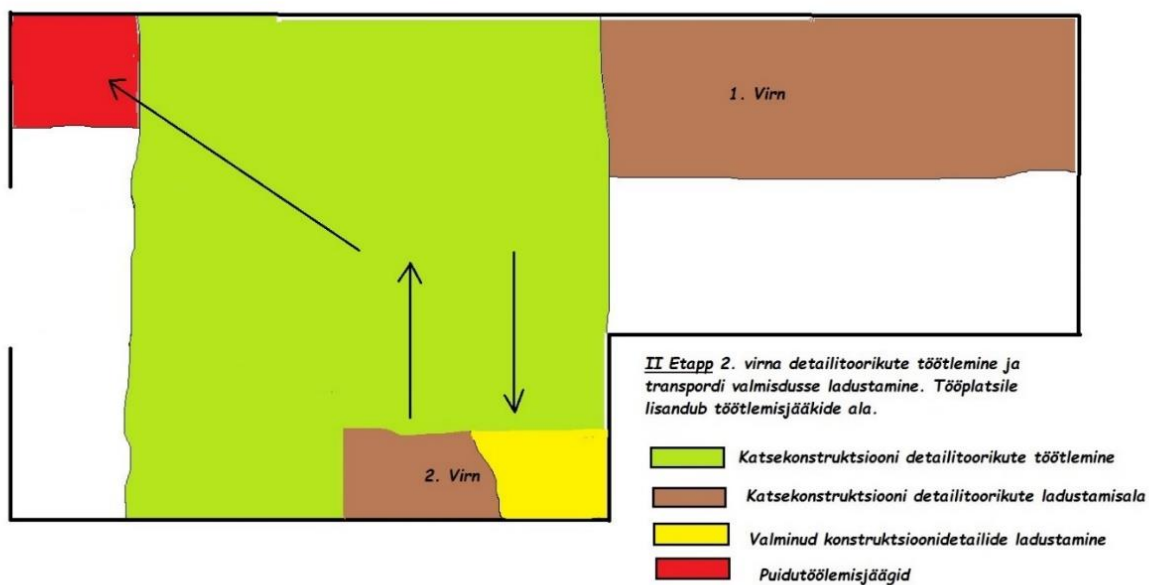
Lineaarset materjali liikumist tööplatsil kirjeldavad joonised nr 21; , mis illustreerivad tegevusetappe katsekonstruktsiooni puitmaterjali töötlemisel. Jooniste eesmärk on anda ülevaade, kuidas kulges materjali liikumine katsekonstruktsiooni ehitusprotsessi vältel.



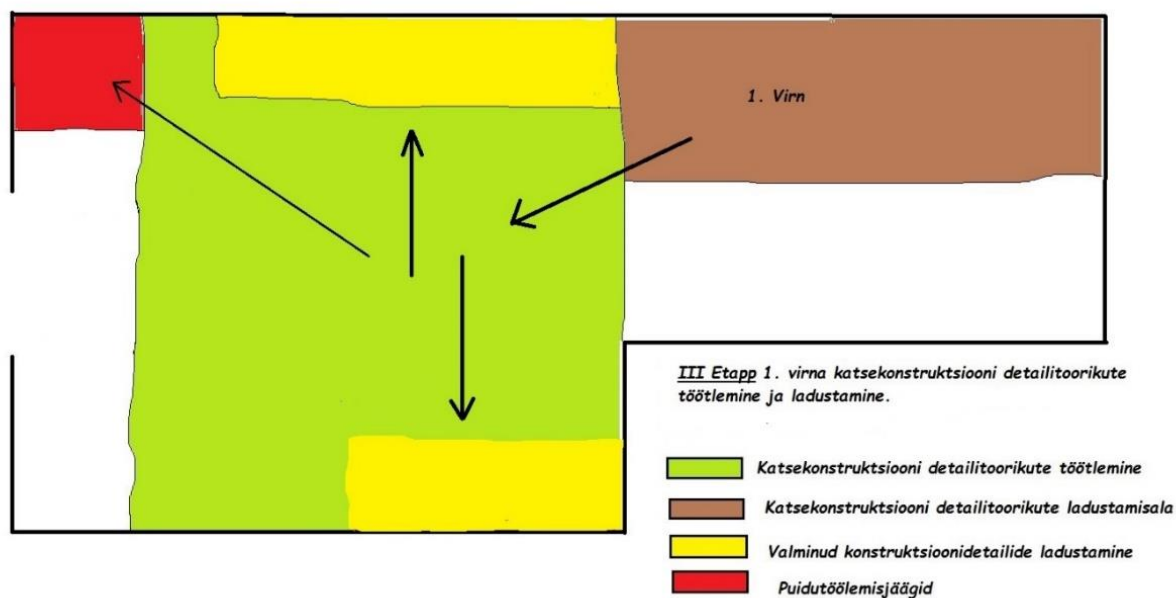
Joonis 20 Katsekonstruktsiooni ehituseks vajamineva puitmaterjali lineaarne liikumine tööplatsil. Autori joonis



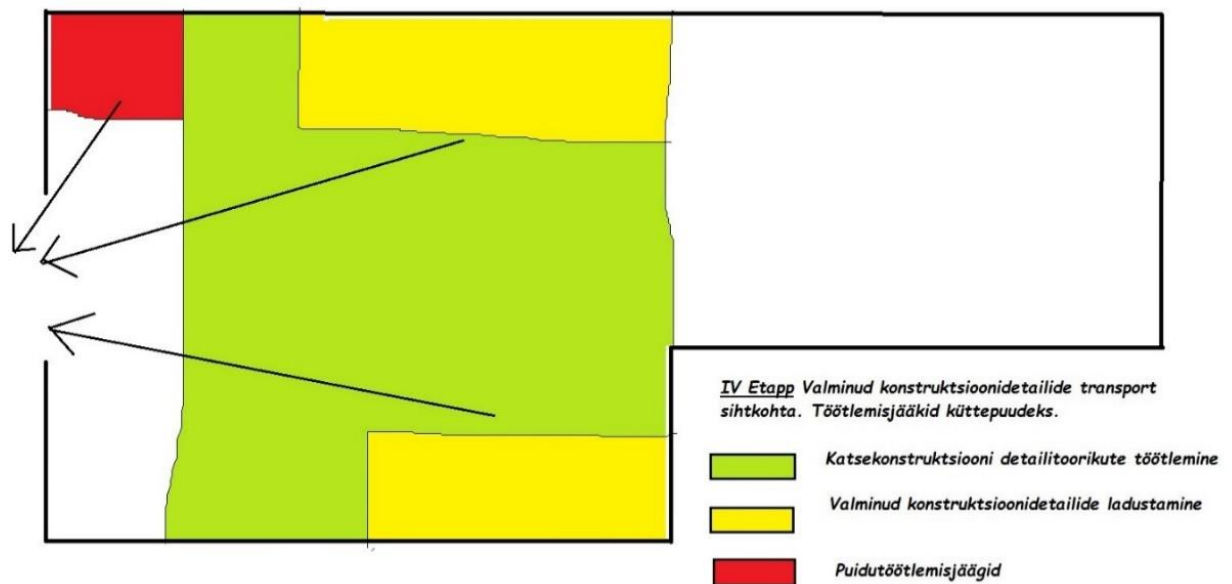
Joonis 21 I Etapp. Katsekonstruktsiooni detailitoorikute ladustamine 1. ja 2. virna. Autori joonis



Joonis 22 II Etapp. 2. virna detailitoorikute töötlemine ja transpordi valmisdusse ladustamine. Tööplatsile lisandub töötlemisjääkide ala. Autori joonis



Joonis 23 III Etapp. 1. virna katsekonstruktsiooni detailitoorikute töötlemine ja ladustamine. Autori joonis



Joonis 24 IV Etapp. Valminud konstruktsioonidetailide transport sihtkohta. Töötlemisjäädgid küttepudeks. Autori joonis

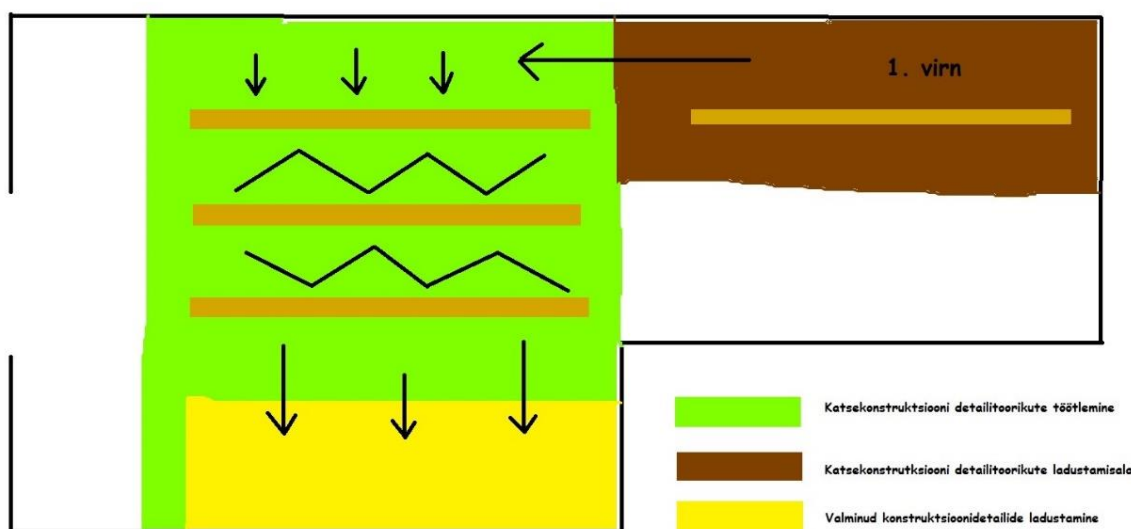
3. 2 Meeskonnatöö ülesehitus

Katsekonstruktsiooni ehitust tööplatsil viisin läbi üksinda, sest rahalist ressursi lisatööjõu palkamiseks polnud ja kogu tegevus oleks seetõttu pidanud põhinema vabatahtlikkusel. Kuna aga pidin tagama tööprotsessi maksimaalselt sujuva kulgemise, olin vabatahtlikele sunnitud seadma endaga võrdväärsed oskusteabetingimused, et vältida asjahuvilistele vajaminevate töövõtete ja tööriistade käsitlemise õpetamistest tingitud ajakulu. Vajalike oskustega vabatahtlikke polnud aga võimalik leida. Tagantjärele mõeldes olin olukorra ees, mis kirjeldas ehedalt Weel OÜ üht olulisemat probleemi – oskustööjõu puudust.

Kirjeldatud põhjusel tuli mul kogu ehitustegevus üles ehitada ühemehesüsteemile ning kompenseerida meeskonnaliikmete puudumist efektiivse tööriista ja töövõtete kasutusega. See tähendab, et katsekonstruktsiooni töökeskkonnas soovisin vähendada tervisele kahjulike füüsiliste koormuste tegureid. (Keskkonna optimeerimine 2015) Alustades oskuslikust peitli teritamisest kuni erisuguste kaalu- ja tõstemeetodite rakendamiseni pikkade ja raskete prusside liigutamisel. Üks kõige enam läbimõeldud tööoperatsioon kogu ehitustegevuse läbiviimisel oli 7,5 meetri

pikkuste 175mmx175mm prusside liigutamine. See oli ka üks põhjustest, miks soovisin enne ehitustegevuse algust tööplatsi ratsionaalset organiseerimist. Pikkade prusside paigutamisel tööplatsil seadsin sihiks kulutada võimalikult vähe energiat nende toimetamiseks töötlemisalale ja sealt edasi transpordialale.

Prussid pikkusvahemikus 5-7,5 m ladustasin tööplatsil ühte virna, kust oli võimalik neid tõmmata töötlemisalale ja sealt külgsuunas edasi transpordialale (vt joonist nr 25). Külgsuunas prusside liigutamise tarvis sättisin tööpukid asendisse, mis võimaldas kaalumeetodil prusse *sik-sakitades* liigutada sobivas suunas (vt joonist nr ...).



Joonis 25 5-7,5 meetri pikkuste prusside liikumine konstruktsiooni detailitoorikute alast töötlemisalale ja sealt valminud konstruktsioonidetailide ladustamis- ja transpordialale. Autori joonis (Allikas: Benson & Gruber 1995, lk

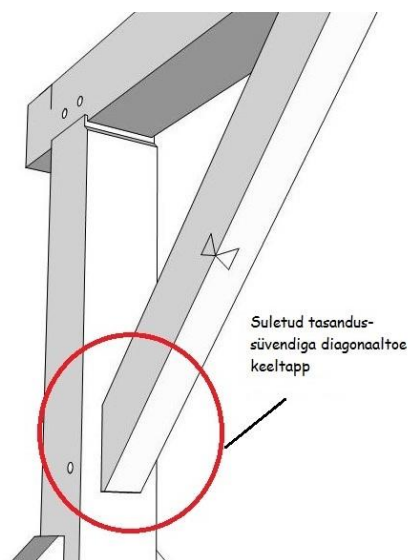
113)

3.3 Mõõtmismetoodika katsekonstruktsiooni ehitusaja mõõtmiseks

Mõõtmisele kuulunud ehitusaeg algas esimese tapi märkimisega ning lõppes viimase konstruktsioonidetaili valmimisega. Katsekonstruktsioon ehitus üles mitmekümnel tapil, mille märkimised ja lõikamised moodustavad suure osa tööplatsil toimuvast. Lisaks märkimistele ja lõikamistele tuli läbi viia ehitusmaterjali transport ühest punktis teise tööplatsi ulatuses. Sellest tulenevalt otsustasin vajamineva informatsiooni kättesaamiseks iga tapi valmistamiseks kuluva aja üles mõõta. Seadsin eesmärgiks, et kiiremad tappide valmistamise ajad saavad olema

alginformatsiooniks tootlikkuse võrdlusanalüüsi läbiviimisel. Muud tegevused, nagu näiteks ehitusmaterjali tõstmine tööpukkidele või virnastamine ehitusperioodi vältel, liitsin katsekonstruktsiooni tappide tegemisele kulunud koondajale juurde, mille ajamahu suurus tapi kohta oli keskmiselt 60%. See oli võimalik, kuna mõõtsin tapitegu ja materjali pukkidele ja sealt ära tõstmist eraldi. Hiljem koondasin mõlemad saadud ajad ühtsesse ajamahutabelisse.

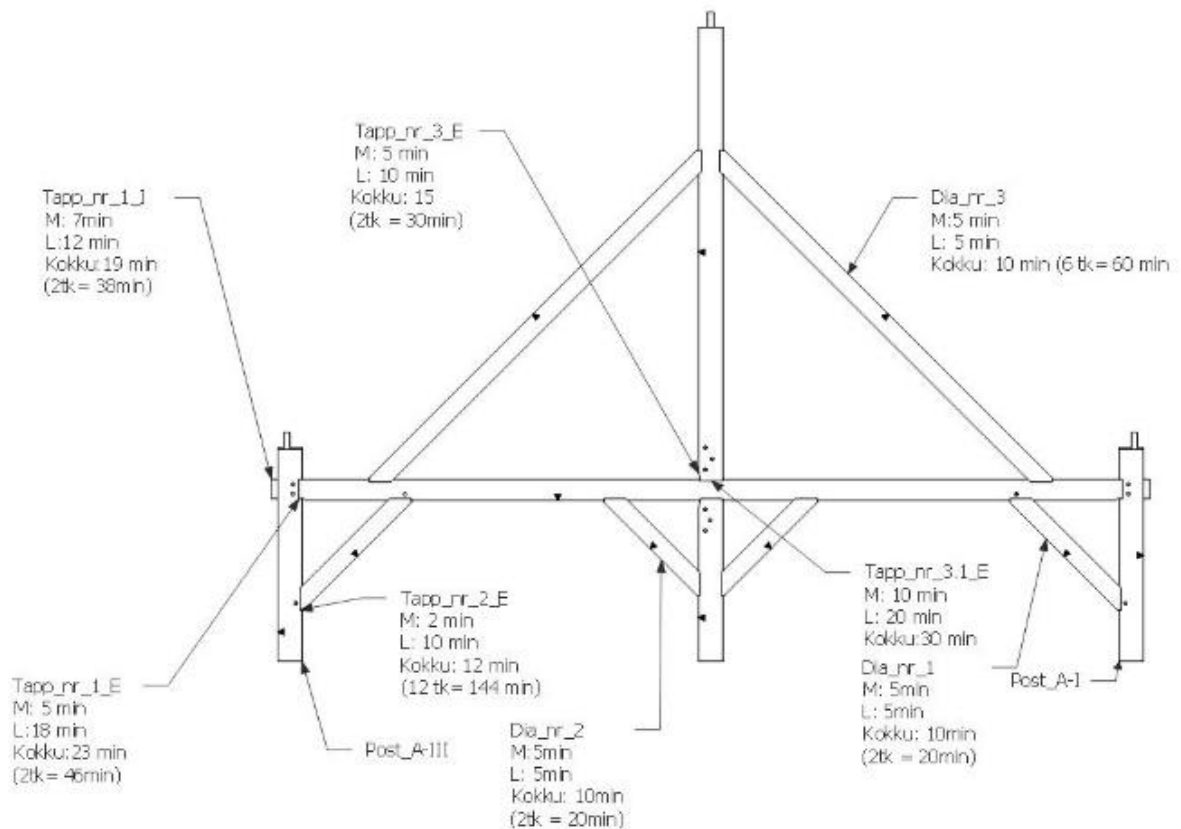
Tapipõhine ajamõõtmine hõlmas selle märkimist ja lõikamist. Näiteks fotol nr 18 väljatoodud diagonaaltoe avatud tasandussüvendi märkimiseks kulus 2 minutit ja lõikamiseks 10 min, kokku 12 minutit. See oli kõige kiirem seda tüüpi tapitegu katsekonstruktsiooni ehitamise perioodil ning seetõttu lähtusin sellest ka aja arvutamisel. Näiteks seksioonis (vt joonist nr 27) Post_A-III – Post_A-I on 12 sellist avatud tasandussüvendiga diagonaaltoe süvendit, mille valmistamiseks kulus arvutuste kohaselt kokku 144 minutit. Kiireima ja aeglasema avatud tasandussüvendi diagonaaltoe süvendi valmistamise vahe oli 1 minut. Suletud tasandussüvendi (vt joonist nr 26) diagonaaltoe süvendi valmistamiseks kulus aga 4 minutit rohkem ehk kokku koos märkimise ja lõikamisega 16 minutit. Täpsustuseks lisan, et kuna kasutasin katsekonstruktsiooni ehitamisel nurgikmeetodil tuginevat ehitustehnoloogiat, siis sisaldasid kõik konstruktsiooni keeltapi tapikeele süvendid tasandussüvendit.



Joonis 26 Suletud tasandussüvendiga diagonaaltugi. Autori joonis.

Lihtsustamaks katsekonstruktsiooni ehitamisel kogutud informatsiooni haldamist koostasid nn seksioonipõhised kaardid (vt joonis nr 27), kokku 7 kaarti, millele lisandus sarikad. Seksioonikaartidele märkisin jooksvalt ehituse vältel erinevate tappide märkimisele ja lõikamisele

kulunud aegu. Sektsioonipõhine lähenemine aitas hiljem koondada selle ehituseks kulunud ajakulu. Samasugust ajamahu kuluarvestust kasutatakse Kanada ettevõttes Hamlet Heavy Timberwork, kus näiteks hinnapakumised kalkuleeritakse just sektsioonipõhiselt ehk lähtuvalt sellest, kui palju mingisuguse raskusastmega tapilahendusi sektsioonis leidub.



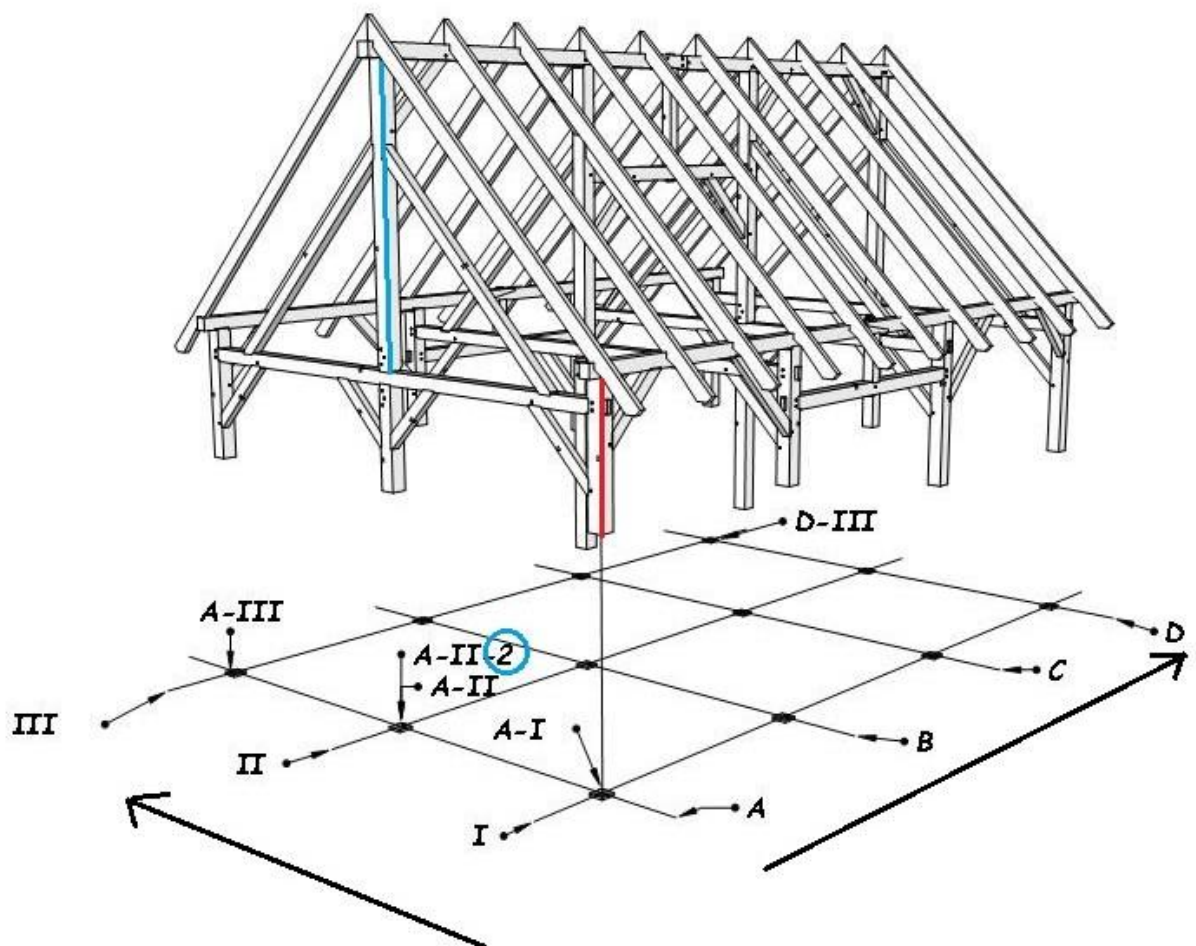
Joonis 27 Sektsioonikaart tappide ajakulu märkimiseks. Autori joonis

3.4 Märke- ja lõikemeetodid

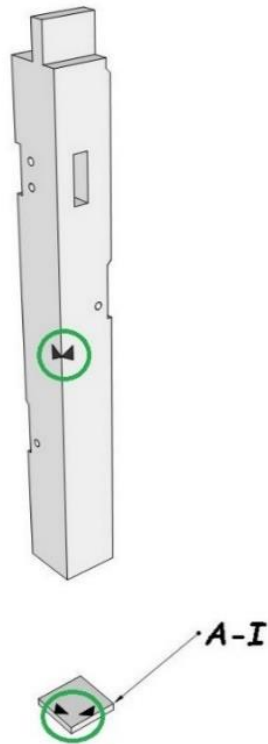
Märkemeetodid. Katsekonstruktsiooni ehitamisel kasutasin Haystack Joinerys ja Chapman Buildingus kasutatud nurgikmeetodit, mis oli sobivaim arvestades Loodi tööplatsi ja ühest inimesest koosneva meeskonna poolt seatud tingimustega. Alustasin ehitustegevuse planeerimist tööjooniste koostamisega, võttes aluseks Hamlet Heavy Timberworkis kasutatud konstruktsioonidetailide asukoha määravat märgisüsteemi. Poolkuude ja kriipsude asemel kasutasin Ühendriikide ettevõtetes kasutusel olnud rooma- ja araabianumbritest ning ladinatähtedest koosnevaid kombinatsioone. See valik tundus loogilisem kuna see võimaldas

paremini kontrollida konstruktsioonidetailide kulgu ehitusplatsil. Kui oleksis valinud sektsioonipõhise lähenemisviisi, siis oleksin kindlasti kasutanud Hamletis kasutusel olnud konstruktsioonidetailide märgisüsteemi.

Konstruktsioonidetailide asukohamääramist alustasin Hamletile omaselt, võttes aluseks välisseina ühe nurgaposti (joonisel nr 28 tähistatud punase vertikaalkriipsuga). Tähistasin selle asukohamääranguga *A-I*. Katusekonstruktsioonidetailide asukohamäärangutele lisasin araabianumbri 2 (joonisel nr 28 sinise ringi ja vertikaaljoonega), mis tähistab katsekonstruktsiooni teist korrust (tulemuseks *A-II-2*). Lisaks konstruktsioonidetaili asukohale määrasin joonisel ka konstruktsioonidetailide referentstasapindade suunad, mis võimaldaks ehitustegevuse käigus lihtsamini orienteeruda tappide asukohtade väljamõõtmisel.



Joonis 28 Katsekonstruktsiooni konstruktsioonidetailide märgisüsteemi ülesehitus. Autori joonis



Joonis 29 Referenttasapindade määramine ehitusjoonisel. Autori joonis

Konstruksioonidetailid tähistasin veekindla markeriga, tähised paigutasin nn peidetud tasapindadele. Näiteks teise korruse püstpostidel kirjutasin asukohamäärangud posti alumise otsa tasapinnale (vt fotot nr 17).

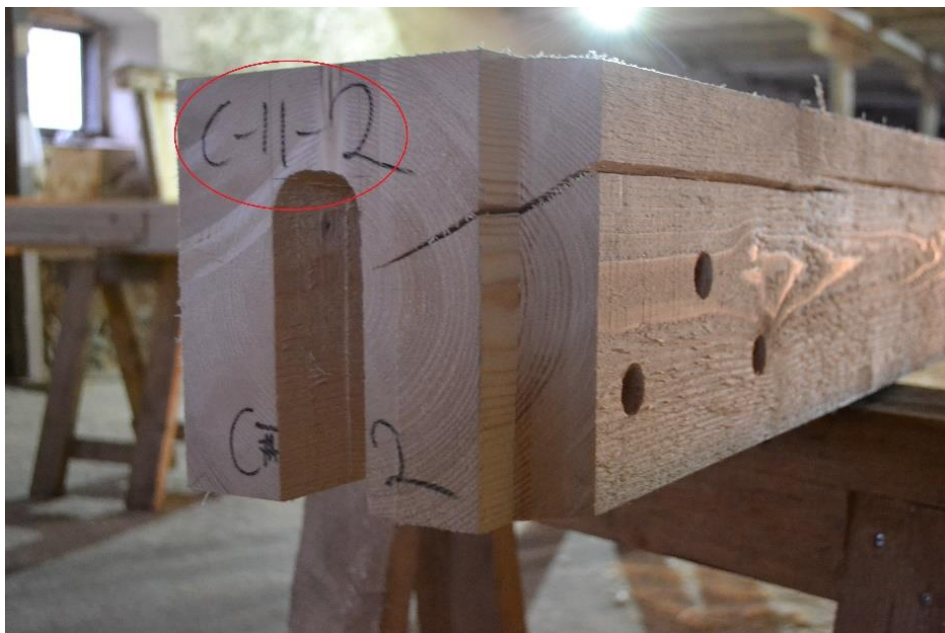


Foto 17 Konstruksioonidetaili asukohta määrav tähis C-II-2. Autori foto

Lõikealasid esile toova märgisüsteemi kasutamisel lähtusin pigem Hamletis ja Chapman Buildingus kasutatust. Kuna töökeskkonna talvine temperatuur ja kare puidupind ei soosinud veekindla markeri intensiivset kasutust, otsustasin Haystack Joineryle omast lõikealasid esile toovat märgisüsteemi mitte kasutada.

Lõikemeetodid. Katsekonstruktsiooni detaile valmistades võtsin eesmärgiks sooritada võimalikult vähe lõikeid ning kasutada ehitusperioodi vältel sarnast lõikeriistade tööriistapargi ülesehitust osalusvaatlustel nähtule. Näiteks diagonaaltugede märkimisel ja lõikamisel kasutasin Chapman Buildingus kogetud meetodit. Diagonaaltugede keeltapi tapikeelte süvendite välja lõikamisel kasutasin Hamletis ja Chapman Buildingus kasutusel olnud tapifreesi, ketassae ja peitli kombinatsiooni, mida kirjeldab foto nr Esimese etapina freesisin tapikeele sügavama süvendi (1), seejärel kasutasin ketassaagi tasandussüvendi ettesaagimiseks (2), et seejärel viia läbi peitlitöö (3 ja 4). 5. etapis kontrollisin tapi täisnurksust mitmeotstarbelise nurgikuga. Viimase lõikeetapina diagonaaltõe tapikeele süvendi valmistamisel kasutasin 50mm laiust puraskpeitlit kaldpinna peideldamisel ja viimistlemisel.



Foto 18 Keeltapi tapikeele süvendi lõikeetappi. Anu Arm foto, 2014

3.4 Kasutatud tööriistapargi kirjeldus

Katsekonstruktsiooni ehitamisel oli mul võimalus kasutada Weel OÜ, MTÜ Rahvusliku Ehituse, rahvusliku käsitöö osakanna ja MTÜ Loodi Mõisa Arenduse tööriistaparki. Kombineerituna oli minu kasutada:

- Mootorsaag Stihl MS260;
- Ketassaag Makita 5008MGJ (90° lõikesügavusega 75,5mm);
- Ketassaag Makita 5143R (90° lõikesügavusega 130mm);
- Tapifrees Mafell LS 103/40 koos toetusrakisega Mafell FG 150;
- Suur puusepanurgik;
- Väike puusepanurgik;
- Mitmeotstarbeline nurgik;
- Tavaline kalkulaator;
- Kiirkinnitusega pitskrugi (pikad), 4tk;
- Pikkade puraskpeitlite komplekt Barr (25mm, 38mm ja 50mm);
- Mõõdulint 10m FatMax Stanley;
- Lühike metallist joonlaud (30cm);
- Tollipulk pikkusega 2m;
- Põrutuskindel löögihaamer Compo-Cast 1,5 kg;
- Veekindel marker (must ja punane);
- Märkmik (objektipäevik);
- Märkenõör (pulber, nõör ca 0,6mm);
- Koormarihmad (6tk, 10m).

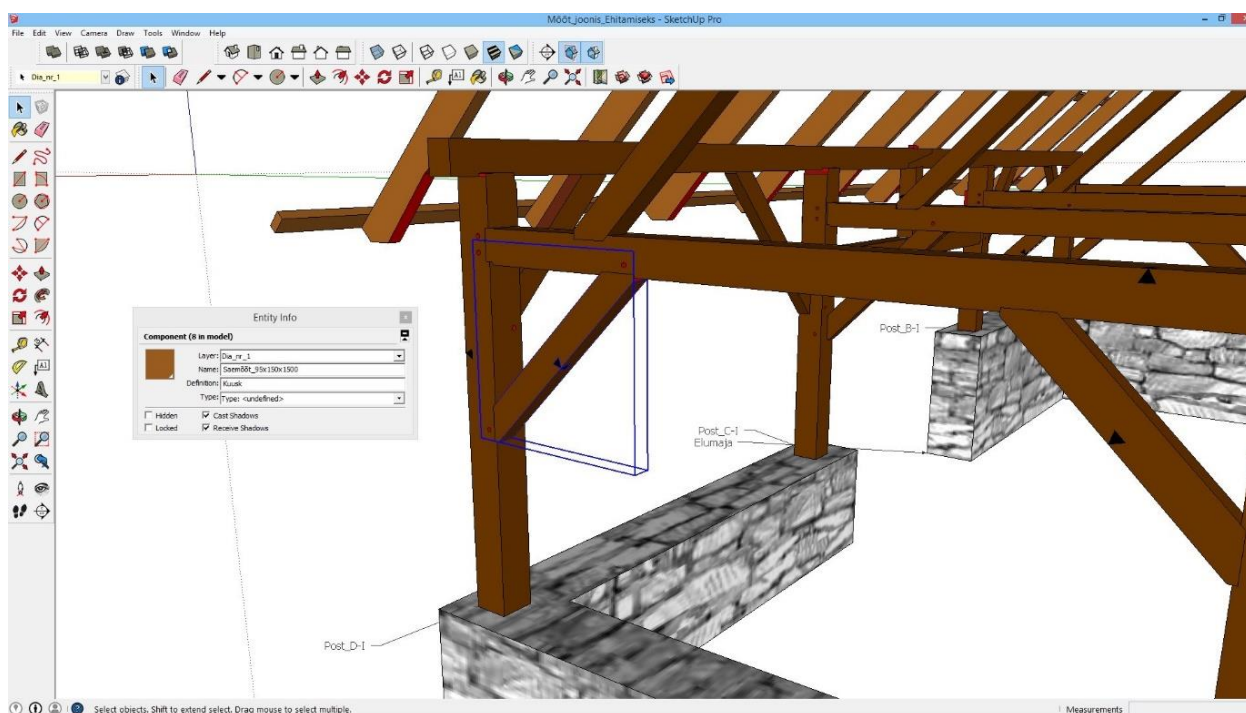
Katsekonstruktsiooni ehitusse oleksin soovinud veel kaasata Haystack Joynerys kasutatud prussikäru, mis lihtsustanuks prusside transportimist tööplatsil. Ning 100mm sügavuslõikevõimekusega ketassaagi lühemate tapikeelte lõikamiseks.

3.5 Tootmistegevust toetanud arvutiprogrammid

Katsekonstruktsiooni konstrueerimisel kasutasin Hamlet Heavy Timberworkis kasutuses olnud 3D joonestusprogramm SketchUp Pro. Joonestusprogrammi valikul lähtusin eelkõige selle odavast

hinnast, ca 500 eurot. Lisaks pakkus SketchUp Pro ühilduvust teiste joonestusprogrammidega, mis kasutavad .dwg failiformaate (Allikas: <http://www.sketchup.com/products/sketchup-pro>). Samuti on programmi ülesehitus lihtne ja loogiline võrreldes näiteks uurimistöö algperioodil proovitud CADWorks`ga.

SketchUp Pro võimaldas modelleerida katsekonstruktsiooni selliselt, mis võimaldas hiljem koguda infot vajamineva saematerjali koguse kohta koos pikkus-, laius- ja kõrgusmõõtudega. Näiteks sisaldas katsekonstruktsioon seitset erinevate mõõtudega diagonaaltugede gruppi, kokku 37 diagonaaltuge. Iga diagonaaltugede grupp ehitus üles kindlatele mõõtudele. Seega kui soovisin teada mitu jooksvat meetrit või tihumeetrit vajan diagonaaltugede nr 1 valmistamiseks, siis piisas hiireklõpsust vajamineval konstruktsioonidetailil materjali koguse teadasaamiseks (vt joonis nr 29). Antud näite puhul oli vaja 12 jooksvat meetrit saematerjali mõõdus 95x159x1500. Samamoodi ehitasin üles ka ülejäänud konstruktsioonidetailide grupid.



Joonis 29 SketchUp Pro. Diagonaaltõe nr 1 kogus ja mõõdud katsekonstruktsiooni 3D mudelis. Autori joonis

Lisaks kaasasin SketchUp Pro joonestusprogrammile tabelarvutusprogrammi Microsoft Excel nii nagu seda tegi Kanada ettevõtte Hamlet Heavy Timberwork. Exceli tabelarvutusprogrammist kirjutasin põgusalt alapeatükis 3.1. Exceli eesmärk oli lihtsustada koondinformatsiooni haldamist katsekonstruktsiooni ehitustegevuse läbiviimiseks. Tabel ehitus üles viisil, mis võimaldas näha

ehituseks vajaminevate konstruktsioonidetailide koguseid ja mõõde ning sisaldas ka võimalust kalkuleerida optimaalset palgi diameetrit, millest lõigata näiteks diagonaaltuge nr 1, kas siis ühe kaupa või kombineeritult teiste konstruktsioonidetailide mõõtudega.

4. TULEMUSED

Tootlikkuse võrdlusanalüüsis võtsid mõõtu kolm vahvärkehituse ettevõtet, kes lähtudes minu saadetud katsekonstruktsiooni 3D joonisest, pakkusid ajamahu suurust selle konstruktsiooni ehituseks. Neile kolmele tulemusele lisasin võrdluseks juurde katsekonstruktsiooni ehituseks tööplatsil kulunud tegeliku ehitusaja. Katsekonstruktsiooni ehituse eesmärk oli püüda olla ajaliselt parim või võrdne lühima ajamahu pakkumise teinud ettevõttega.

Kolme ettevõtte võrdluses tegi lühima ajamahupakkumise Hamlet Heavy Timberwork, kes pakkus katsekonstruktsiooni ehituseks 168 töötundi. Järgnes Haystack Joinery 270 töötunniga ja pikima ajamahupakkumise tegi Hobbiton Home OÜ 286 töötundi. Osalusvaatluste raames kogutud oskusteabele toetudes ehitasin katsekonstruktsiooni valmis 145 töötunniga. See tähendab, et saavutasin 23 töötunnise edumaa võrreldes parima tulemuse teinud Hamlet Heavy Timberworkiga. Seega pakkusid katsekonstruktsiooni ehituseks valitud tööriistakäsitlused, tööplatsikorraldus ja vajamineva ehitusmaterjalile esitatud nõuded toimivat oskusteavet tootlikkuse kasvule suunatud tööskeemi ülesehituseks ja rakendamiseks. Samuti edaspidiste traditsioonipõhiste vahvärkkonstruktsioonide ehitamiseks.

4.1 Weel OÜ tootlikkuse kasvu mõjutavad tegurid

Lähtuvalt katsekonstruktsiooni ehituse tulemuste analüüsist on tootlikkusele suunatud tööskeemi tunnused järgnevad:

Ilmastikust sõltumatu töökeskkond. Oluline on ehitustegevust läbi viia töökeskkonnas, mis võimaldab katkestusteta tööoperatsioonide läbiviimist. Seega esmatingimus tootlikku ehitustegevuse läbiviimiseks on välikeskkonnast sõltumatus. Siinkohal pean silmas pigem sademete vaba töökeskkonda. Töökeskkonna temperatuur on pigem teisejärguline ja kategoriseerub mugavusküsimuse alla.

Määratud kvaliteedinormid puitmaterjalile. Katsekonstruktsiooni ehitusel kasutatud prusside tarnijale seadsin nõude, et kahe lähikülje tasapindade asetus oleks 90°. Nõue tulenes katsekonstruktsiooni ehitamisel kasutatud nurgikmeetodi ehitustehnoloogilisest eripärast. 90° asetuse eesmärk on vältida prussi täiendavat töötlemist (tasapindade hõõveldamine soovitud nurgaasetusse) ehitustegevuse läbiviimiseks. Seega kui ettevõtte otsustab kasutada nurgikmeetodil põhinevat ehitustehnoloogiat, siis tootlikkuse kasvule mõeldes tuleb tal tarnijale dikteerida soovitud kvaliteedinõuded vajamineva materjali saagimisel. Alternatiiviks on isikliku saekaatri kasutamise või selle soetamise võimalus.

Tööplatsi läbimõeldud paigutus. Soovitud ajamahu piirides ehitamine sõltub kasutatava ruumi võimalustest ja eripäradest (nt sissepääsude paigutus, ruumi kõrgus jms), tõste- ja transpordimehhanismide olemasolust ja meeskonna suurusest. Tõste- ja transpordimehhanismide puudumisel tuleb liigse ajakulu vältimiseks enne ehitustegevuse algust läbi mõelda näiteks tööpukkide asetus prusside sujuvaks liigutamiseks kogu tööplatsi perimeetri ulatuses. Mida detailirohkem vahvärkkonstruktsioon, seda suuremal hulgal tuleb läbi viia prussiasukohtade vahetust.

Ühtlase oskusteabega ehitusmeeskond. Ehitusprotsessi kulgemist kiirendab märgatavalt kui iga meeskonna liige on suuteline ülesannetest üheselt arusaama ning erinevaid tööetappe iseseisvalt täitma. Siis sujub ka ehitusprotsess vaieldamatult vähemate tõrgetega. Kaks olulist aspekti, mis läbisid kõiki osalusvaatlusel osalenud ettevõtteid oli meeskonnaliikmete analüüsi- ja suhtlusvõime. Oluline oli, et liikmed teadvustaksid, mida nad platsil teevad: näiteks mida ja kuidas lõigata. Juhtpusepa poolt märgitud tapp ei pruugi alati olla õiges kohas ja õigete mõõtudega.

Oskusteabele ja töökeskkonnale vastav ehitustehnoloogia. Tuleb teadvustada, kus kohas ehitatakse ja missugust ehitustehnoloogiat kasutatakse. Näiteks nõorloodmeetodit kasutades tuleb arvestada võimalike ehitatavate sektsioonide mõõtudega. Sellest lähtuvalt tuleb valida ka vastavate mõõtmega välikeskkonnast sõltumatu tööplats, mis võimaldaks nõorloodimeetodil ehitustehnoloogia kasutust rakendamist. Nurgikmeetodit saab edukalt kasutada ka ruumis, mille põrandapind sektsioonide laiali laotamist ei luba.

Tõhus tööriistapark. Tööriistapark on ehitustegevuse läbiviimisel äärmiselt tähtis tegur. See tähendab, et kui ettevõtte soovib spetsialiseeruda traditsioonipõhiste vahvärkkonstruktsioonide

ehitamisele, tuleb sellest lähtuvalt üles ehitada ka tööriistapark ja tootmistegevust toetavad arvutiprogrammid. Näiteks keeltapi tapikeele süvendi lõikamine tapifreesiga on kordades tootlikum kui mistahes teine käsitöönduslik tööriistakäsitus. Tõhus tööriistapark võimaldab töötada väikesearvulise meeskonnana. Vajadusel piisab isegi ühest puusepast, kes omab kõrgel tasemel oskusteavet traditsioonipõhiste vahvärkkonstruktsioonide ehituseks.

4.2 Weel OÜ tootlikkuse kasvuks vajalikud arendusmeetmed tööskeemi täieulatuslikuks rakendamiseks

Tootlikkuse kasvule suunatud tööskeemi loomisel traditsioonipõhiste vahvärkkonstruktsioonide ehitamisel tuleks lähtuda tootlikkuse kasvu mõjutavatest tunnustest. Kuid samas tuleb ka meeles pidada, et tööskeemid ehituvad üles ettevõttepõhiselt ega kattu üks ühele. See sõltub ettevõttele kättesaadavast tööriistapargist, ehitusmeeskonna ülesehitusest ja ettevõtte sees kasutatavast oskusteabest.

Lähtuvalt Weel OÜ kasutuses olevast Loodi mõisas asuvast tööplatsist ning selle võimalustest ja kasutatavast tööriistapargist, võiks ettevõtte edaspidiste traditsioonipõhiste vahvärkkonstruktsioonide ehitamisel kasutatav tööskeem sisaldada järgnevat :

- Kasutada ehitustegevuse läbiviimisel katsekonstruktsiooni ehitusele sarnast tööplatsi korraldust;
- Kasutada nurgikmeetodil tuginevat ehitustehnoloogiat;
- Nurgikmeetodi eripärast tulenevalt soetada ühe mehe kasutusvõimekusega saekaater või luua kindel koostöövorm saekaatri teenust pakkuva ettevõttega, kes suudab Weel OÜ poolt etteantud juhiste tuginedes tarnida vajaminevas koguses puitmaterjali;
- Üheliikmelise ehitusmeeskonna puhul kompenseerida teise puusepa puudumine tõste- ja transpordimehhanismidega ning tõhusa tööriistapargiga (võtta eeskujuks tööriistapargi loetelu lk 52);
- Juhul kui ehitusprotsessi on võimalik kaasata enam kui üks vajaliku oskusteabega puusepp, siis on võimalik traditsioonipõhiste vahvärkkonstruktsioonide ehitamisel saavutada veelgi suurem ajavõit;

- Soovituslik on luua siseriiklik ja piiriülene koostöövõrgustik soovitud oskustega puuseppadest või ettevõtetest, keda võimalusel suuremahuliste konstruktsioonide ehitamisel kaasata;
- Lõikeoperatsioonide läbiviimisel teha võimalikult vähe lõikesooritusi, võimalusel anda puuseppadele suunised lõigete arvu kohta tappide väljalõikamisel;
- Tõhustada olemasolevat tööriistaparki maksimaalse võimekuse ja lõikesügavusega järkamissae ja ülafreesiga ning kolmanda ketassaega, mille maksimaalne lõikesügavus on 100mm (90°).

KOKKUVÕTE

Magistritöö „Tootlikkuse kasvule suunatud tööskeemi loomine Weel OÜle traditsioonipõhiste vahvärkkonstruktsioonide valmistamiseks“ eesmärk oli koguda oskusteavet ning kaardistada tootlikkuse kasvu mõjutavad tunnused ning saadud teabe põhjal luua tootlikkuse kasvule suunatud ettevõtte võimalusi arvestav tööskeem traditsioonipõhiste vahvärkkonstruktsioonide ehitamiseks.

Tootlikkuse kasvule suunatud tööskeemi eesmärk on aidata Weel OÜl järgnevate vahvärkkonstruktsioonide ehitamisel kokku hoida ettevõtte ressursse ning seeläbi püsida konkurentsivõimeline ettevõttena olukorras, kus käsitööstusliku palk- ja vahvärkehituses hinnatase on kujunenud suuresti „halli majanduse“ tingimustes.

Magistritöö raames välja töötatud tootlikkuse kasvule suunatud vahvärkkonstruktsioonide ehitamise tööskeem toetub osalusvaatluste raames kogutud oskusteabel, mida tõestasin empiiriliselt tootlikkuse võrdlusanalüüsi abil. Selleks püstitasin kogutud oskusteabel tugineva tööskeemi najal katsekonstruktsiooni, mõõtes kulunud tööaega ning võrdlesin tulemust kolme ettevõtte ajamahupakkumistega samale konstruktsioonile. Ehituseks valitud meeskonna ja tööriistapargi ülesehitus, märke- ja lõikemeetodid ning kasutatud arvutiprogrammid võimaldasid saavutada kiireima tulemuse võrreldes kiireima võrdlusettevõtte pakkumisega.

Tootlikkuse kasvule suunatud tööskeemi tegurid on ilmastikust sõltumatu töökeskkond; kvaliteedinormid puitmaterjalile; tööplatsi läbimõeldud paigutus; ühtlase oskusteabega ehitusmeeskond; oskusteabele ja töökeskkonnale vastav ehitustehnoloogia ja tööriistapark.

Kasutatud uurimismetoodika tõestas end ning töö käigus saadud kogemus ja saavutatud tulemused annavad võimaluse edaspidi Weel OÜ tootlikkust tõsta. Samuti on sarnast tööskeemi võimalik kahandada või sarnast metoodikat kasutades töötada tõhustatud tööskeeme teistele valdkonnas tegutsevatele ettevõtetele.

KASUTATUD KIRJANDUS

Publitseeritud kirjandus

- Allas, A; Bernstein, B; Ehasalu, P jt.** 2001. *Kunstileksikon*. Tallinn: Eesti Klassikakirjastus.
- Benson, T; Gruber, J.** 1995. *Building The Timber Frame House. The Revival of A Forgotten Craft*. New York: Fireside
- Chapell, S.** 2007. *A Timber Framer`s Workshop. Joinery, Design & Construction of Traditional Timber Frame*. Brownfield: Fox Maple Press, Inc.
- Charles, F.W.B; Charles, M.** 2003. *Conservation of Timber Buildings*. Shaftesbury: Donhead Publishing Ltd.
- Gross, M.** 2005. *Roof Fraiming. The Frirst Book That Explain Roof Cutting – From Simple to Complex*. Carlsbad: Craftsman Book Company.
- Hodgson, F.T.** 1883. *The Carpenters` Steel Square, and Its Uses*. New York: The Industrial Publication Company.
- Kalle, E.** 2007. *Tootlikkuse kasvu juhtimine ettevõttes*. Tallinn: Külim.
- Laherand, M. L.** 2008. *Kvalitatiivne uurimisviis*. Tallinn: OÜ Infotrükk.
- Newman, R.** 2005. *Oak-Framed Buildings*. East Sussex: The guild of Master Craftsman Publications Ltd.
- Olt, J; Nikolajev, M.** 2009. *Tootearendus: õppeprogramm*. Tartu: La Pub OÜ, Tartu Teaduspark.
- Veski, A.** 1949. *Ehitustootlus*. Tallinn: Pedagoogiline kirjastus.
- Veski, A.** 1948. *Puusepa- ja laudsepatööd*. Tallinn: Pedagoogiline kirjastus.
- Õunapuu, L.** 2014. *Kvalitatiivne ja kvantitatiivne uurimisviis sotsiaalteadustes*. Tartu: Tartu Ülikool.

Teadustöö

Reili, S. 2005. *Väike saksa-eesti keskaja arhitektuuri seletav sõnastik*. Tartu: Tartu Ülikool. [Magistripjekt]. Tartu

Uuringud

Varimajandus Eestis 2013. 2014. Eesti Konjutuuriinstituut

Internetiallikad

Ehitusseadus. RT I 2002, 47, 297. <https://www.riigiteataja.ee/akt/133139> (11.05.2015)

E-Krediidiinfo. 2015. <https://www.e-krediidiinfo.ee/> (26.04.2015)

Inforegister. 2015. <https://www.inforegister.ee/> (26.04.2015)

Heartland Science. 2015. <http://heartlandscience.org/barns/gallerysource/barn18gal.gif> (05.02.2015)

Keskkonna optimeerimine. 2015. <http://raulpage.org/ergo/ergo4.html> (01.05.2015)

Majandustegevuse register. 2015. https://mtr.mkm.ee/juriidiline_isik?m=96 (27.04.2015)

Meeskonnatöö. 2015. <http://web.ametikool.ee/jane/ryhm/4/start.html> (05.03.2015)

Sihtasutus Kutsekoda. 2015. <http://www.kutsekoda.ee/et/kutseregister/kutsetunnistused> (27.04.2015)

SketchUp Pro. 2015. <http://www.sketchup.com/products/sketchup-pro> (15.03.2015)

Autori välitööd

Tammekivi, T. 2013. *Välitööde päevik I. Haystack Joinery ja Chapman Building*.

LISAD

Lisa 1. Tegevuslubadega ja –lubadeta käsitöö palk- ja vahvärkettevõtted

Info kogumise allikad: www.e-krediidiinfo.ee; www.inforegister.ee;

www.kutsekoda.ee/et/kutseregister/kutsetunnistused; www.mtr.mkm.ee

Kontroll teostatud vahemikus: 26.04.2015 – 27.04.2015

Jrk number	Nimi	Registreerimiskood	Tegevusluba	Palkmaja-ehitaja, tase 5
1	Aagenpitsi Tare OÜ	10542245	Puudub	Puudub
2	Aampalk FIN OÜ	11903805	-	Olemas
3	Ainsam OÜ	12197019	Puudub	Puudub
4	A&H Ristpalkmajad OÜ	10832902	Olemas	Olemas
5	ELH Palkehituse OÜ	11171354	Olemas	Olemas
6	Pärnu Log Homes OÜ	11891723	Olemas	Olemas
7	Hobbiton Home OÜ	11569980	Olemas	Olemas
8	Majand OÜ	10899774	Puudub	Puudub
9	Palkehituse OÜ	10057478	Puudub	Puudub
10	Tender Ehitus OÜ	10061988	Olemas	Puudub
11	Vipson Projekt OÜ	10884603	Olemas	Olemas
12	Adams Grupp OÜ	10373771	Olemas	Puudub
13	Apthaus Palkmajad OÜ	11262022	Puudub	Puudub
14	AS Arnold	10754332	Puudub	Puudub
15	Baltic Loghouses OÜ	10729682	Puudub	Puudub
16	Baltichouse Production OÜ	11669568	Puudub	Puudub
17	Dreimann OÜ	12431076	Puudub	Puudub
18	Eesti-West OÜ	11286324	Puudub	Puudub
19	Estiske Lafthus OÜ	10288172	Puudub	Puudub
20	Greendale Group	10727341	Puudub	Puudub
21	Hansatare OÜ	10922504	Puudub	Puudub
22	Hiiesalu Grupp OÜ	10597849	Puudub	Puudub
23	Ivar Haabsaar FIE	10912009	Puudub	Puudub
24	Jaak Jagomäe FIE	11738097	Puudub	Puudub

25	Jüri Metssalu FIE	11569832	Olemas	Puudub
26	K&K Buildings OÜ	10953868	Olemas	Puudub
27	Logmix Group OÜ	11526320	Puudub	Puudub
28	Logwolf OÜ	11568778	Puudub	Puudub
29	Loodusmaja OÜ	11172804	Puudub	Puudub
30	L.L House OÜ	10883223	Puudub	Puudub
31	Majorett OÜ	12589280	Puudub	Puudub
32	Marek Viiksaar FIE	10535021	Puudub	Puudub
33	Merington OÜ	10742524	Olemas	Puudub
34	Meris OÜ	10105941	Olemas	Puudub
35	Milord OÜ	11362108	Olemas	Puudub
36	Muinasehitus OÜ	12352075	Puudub	Puudub
37	ROMILLY OÜ	12165195	Puudub	Puudub
38	Oheka Palkmajad OÜ	11431683	Puudub	Puudub
39	Otland OÜ	12434838	Puudub	Puudub
40	Palgivana OÜ	12213215	Puudub	Puudub
41	Palktoode OÜ	12057063	Puudub	Puudub
42	Puustüda OÜ	11949925	Puudub	Puudub
43	Ramatel Puit OÜ	10603567	Puudub	Puudub
44	Ranman Grupp OÜ	10289585	Olemas	Puudub
45	Renske OÜ	10875053	Olemas	Puudub
46	Retro Home OÜ	11158879	Olemas	Puudub
47	Riho Keskspaik FIE	10721509	Olemas	Puudub
48	Ristiküla Palkmaja OÜ	11382163	Puudub	Puudub
49	Saare Tare OÜ	11101253	Olemas	Puudub
50	Sarlog OÜ	11133661	Olemas	Puudub
51	Saulerman OÜ	10767435	Olemas	Olemas
52	Snekker OÜ	11376174	Puudub	Puudub
53	Vakimaa OÜ	10053115	Puudub	Puudub
54	Valev Maasik FIE	11736891	Puudub	Puudub
55	Valkan OÜ	10852939	Puudub	Puudub
56	Valmer Puit OÜ	10244938	Puudub	Puudub
57	Viimval OÜ	10471769	Olemas	Puudub
58	Westbygg OÜ	11591872	Puudub	Puudub
59	Õöbiksaare Palkmajad OÜ	11171845	Olemas	Olemas
60	Indrek Rõbtsenko FIE	11986760	Puudub	Puudub
61	Weel OÜ	12049589	Olemas	Olemas
62	Päikesepuu OÜ	12189327	Puudub	Puudub
63	Purest OÜ	12715891	Olemas	Olemas
64	Estnor OÜ	10706304	Olemas	Puudub
65	Reed & Roof OÜ	11121020	Puudub	Puudub
66	Vaksik OÜ	10004329	Olemas	Puudub
67	Vana Maja OÜ	11477254	Olemas	Olemas
68	Innopol Group OÜ	11453911	Puudub	Puudub
69	Kodutalu OÜ	11534437	Puudub	Olemas
70	Palk Projekt OÜ	10901558	Puudub	Puudub
71	Hando Guske	11829457	Puudub	Puudub
72	Vana Maja Söber OÜ	11631347	Puudub	Puudub
73	Puuring OÜ	12765819	Puudub	Puudub
74	Katusõkatja OÜ	10911754	Olemas	Puudub

47st ettevõttest on 27 ametlik tegevusluba tegelemaks ehitustegevusega. 12. ettevõttel omab vastutav spetsialist palkmajaehitaja, tase 5 kutsetunnistust. Tase 5 olemasolul ei pea ettevõtte taotlema vastutava spetsialisti registreeringut. (Ehitusseadus)

Lisa 2 Osalusvaatlustel tuvastatud ettevõtete tööriistapargi loetelu

2.1 Hamlet Heavy Timberworkis tuvastatud tööriistapargi loetelu.

Saekaater:

- Mobiilne lintsaeraam Wood-Mizer, 1tk.

Mootorsaad:

- Mootorsaag Jonsered, 1tk.

Elektritööriistad:

- Tapifrees Mafell LS 103/40, 1tk;
- Ketassaag Makita 5103R, 2tk;
- Ketassaag Makita 5402NA, 1tk;
- Ketassaag DeWalt , 2tk;
- Elektrihöövel Makita KP312S, 2tk;
- Elektrihöövel Makita 1806B, 1tk;
- Elektriline kettsaag Stihl, 1tk;
- Portatiivne lintsaag, 1tk;
- Portatiivne saepink DeWalt DW7445, 1tk;
- Järkamissaag DeWalt, 1tk;
- Smirgelkäi, 1tk;
- Elektritrell DeWalt, 1tk;
- Elektritrell Makita DS4011, 1tk;
- Harilihvmasin Makita 9741, 1tk;
- Lintlihvmasin Makita 9911, 2tk;
- Ekstsentriline lihvnasin DeWalt, 1tk;
- Elektritrell DeWalt, 1tk.

Akutööriistad:

- Akutrelli komplekt DeWalt, 1tk;
- Laserlood DeWalt, 1tk.

Märke- ja mõõteriistad:

- Suur puusepanurgik Stanley (vinkel), 3tk;
- Mitmeotstarbeline nurgik Stanley Combination Square, 3tk.

- 8m mõõdulint Stanley FatMax, 3tk;
- Ink-line (tindi) märkenöör, 2tk;
- Vesiloodide komplekt (lühike, keskmine, pikk), 1tk.

Löögi- ja löikeriistad:

- Pikk puusepa peitel Sorby komplekt (38mm ja 50mm), 2tk;
- Lühike puusepa peitel komplekt (25mm, 38mm, 50mm), 2tk;
- Suur põrutuskindel nahast peadega puusepahaamer, 3tk;
- Vukssaag (väike hammas), 3tk;
- Käsihöövel Stanley (suur ja väike), 2tk.

Statsionaarsed puutöömasinad:

- Paltesaag (ratastel), 1tk;
- Lintpüstsaa (ratastel), 1tk;
- Puurpink, 1tk;
- Paksusmasin (ratastel), 1tk;
- Höövelpink, 1tk.

Kinnitusvahendid:

- Koormarihmad, ca 20-25tk;
- Prussi tõmmitsad, 2tk;
- Metallpulgad ajutiseks konstruktsiooni kinnitamiseks, ca 30tk;
- Pikad, keskmised, lühikesed pitskruvid.

Transport- ja tõstemehhanismid:

- Kaubik tööriista ja materjaliveoks (suur ja väike), 2tk;
- Kahveltõstuk, elektritoide (tööplats), 1tk;
- Suur kahveltõstuk, diisel (välikeskkond), 1tk;
- Eriotstarbeline käru, inimjõul liigutav, 1tk.

2.2 Haystack Joinerys tuvastatud tööriistapargi loetelu.

Saekaater:

- Mobiilne lintsaeraam Wood-Mizer LT70 vanem versioon.

Mootorsaad:

- Mootorsaag Husqvarna 50cm³.

Elektritööriistad:

- Tapifrees Makita 7104L, 1tk;
- Ketassaag Makita suur, 1tk;
- Ketassaag Makita keskmine, 1tk;
- Ketassaag Skilsaw 8-1/4 In, 2tk;
- Elektrihoövel Makita KP312S, 1tk;
- Mortatiivne saepink Makita 2704, 1tk;
- Elektritrell Makita DS4011 + rakis, 1tk;
- Lintlihvmasin Makita 9911, 1tk;
- Järkamissaag Bosch 5312; 1tk;
- Tormek vesikäi, 1tk;
- Ülafrees maks. sügavusvõimekusega, 1tk.

Akutööriistad:

- Akutrelli komplekt Makita Combikit DTD146, 1tk;
- Laserlood DeWalt, 1tk.

Märke- ja mõõteriistad:

- Suur puusepanurgik Stanley (vinkel), 2tk;
- Mitmeotstarbeline nurgik Stanley Combination Square, 2tk.
- Märkešabloon *Borneman Layout Template*, 1tk
- 8m mõõdulint, 2tk;
- Peenikese nõoriga (pulber) märkenöör, 1tk;
- Vesiloodide komplekt (lühike, keskmine ja pikk), 1tk;
- Väike märkesirkl, 1tk;
- Suur märkesirkl, 1tk.

Löögi-ja lõiketiistad

- Pikk puraskpeitlite Barr komplekt (25mm, 38mm ja 50mm), 1tk;
- Lühike puusepa peitlite komplekt (25mm, 38mm, 50mm), 1tk;
- Lühike kumerpeitlite komplekt, 1tk;
- Suur põrutuskindel nahast peadega puusepahaamer, 2tk;
- Jaapani saag (väike hammas, ristikiudu), 1tk;
- Jaapani saag (suur hammas, ristikiudu), 1tk;

- Jaapani saag (väike hammas, pikikiudu), 1tk;
- Käsihöövel Stanley (suur ja väike), 2tk.
-

Statsionaarse puutöömasinad:

- Tapipuurpink Jet 719-A Floor Standing, 1tk;
- Paksushöövelmasin (ratastel) Makita 2040.

Kinnitusvahendid:

- Pikad, keskmised, lühikesed pitskruvid;
- Koormarihmad.

Transport- ja tõstemehhanismid:

- Prussikäru Timber Cart, 1tk;
- Veoauto 2,5t kandevõime, 1tk;
- Suure autoveohaagis, 1tk.

2.3 Chapmann Buildingus tuvastatud tööriistapargi loetelu

Mootorsaad:

- Mootorsaag 50cm³.

Elektritööriistad:

- Tapifrees Mafell LS 103/40, 1tk;
- Ketassaag Skilsaw 8-1/4 In, 2tk;
- Mortatiivne saepink Makita 2704, 1tk;
- Elektritrell Makita DS4011, 1tk;
- Lintlihvmasin Makita 9911, 1tk;

Akutööriistad:

- Akutrelli komplekt Makita, 1tk;
- Laserlood, 1tk.

Märke- ja mõõteriistad:

- Suur puusepanurgik, 3tk;
- Mitmeotstarbeline nurgik Combination Square, 2tk.
- Märkešabloon *Borneman Layout Template*, 1tk
- 8m mõõdulint, 2tk;

- Peenikese nõõriga (pulber) märkenöör, 2tk;
- Vesiloodide komplekt (lühike, keskmine ja pikk), 1tk.

Löögi-ja löikeriistad

- Pikk puraskpeitlite Barr komplekt (25mm, 38mm ja 50mm), 1tk;
- Lühike puusepa peitlite komplekt (25mm, 38mm, 50mm), 1tk;
- Suur põrutuskindel nahast peadega puusepahaamer, 2tk;
- Käsihöövel Stanley (suur ja väike), 2tk;
- Vukssaag (väike hammas), 2tk.

Kinnitusvahendid:

- Pikad, keskmised, lühikesed pitskruvid;
- Koormarihmad.

Lisa 3 Katsekonstruktsiooni tappide valmistamise ajavõtutabel

* I – tapikeele süvend; * II – tapikeel

Post_ A-III – Post_ A-I; Post_ D-III – Post_ D-I

Tapi nimetus	tk	Märkimine (min)	Lõikamine (min)	Aeg kokku (min)	Aeg kokku (min)	+60%
Tapp_nr_1_II	2	7	12	19	38	60,8
Tapp_nr_1_I	2	5	18	23	46	73,6
Tapp_nr_2_I	12	2	10	12	144	23
Tapp_nr_3_I	2	5	10	15	30	48
Tapp_nr_3.1_I	1	10	20	30	30	48
Dia_nr_2;1;3	6	5	5	10	60	96
Kontroll	1			240	240	384

2 x 940,8 = 1881,6

Post_ B-I – Post_ B-III; Post_ C-III – Post_ C-I

Tapi nimetus	tk	Märkimine (min)	Lõikamine (min)	Aeg kokku (min)	Aeg kokku (min)	+60%
Tapp_nr_1_II	2	7	12	19	38	60,8
Tapp_nr_1_I	2	5	18	23	46	73,6
Tapp_nr_2_I	8	2	10	12	96	153,6
Tapp_nr_3_I	2	5	10	15	30	48
Tapp_nr_3.1_I	1	10	20	30	30	48
Dia_nr_1; 2	4	5	5	10	40	64
Dia_nr_4	2	6	7	13	26	41,6
Tapp_nr_4_I	4	3	19	22	88	140,8
Kontroll	1			240	240	384

2 x 1014,4 = 2028,8

Sarikas

Tapi nimetus	tk	Märkimine (min)	Lõikamine (min)	Aeg kokku (min)	Aeg kokku (min)	+60%
Sar_1	40	7	7	14	560	89
Sar_2	40	4	4	8	320	512

1408 = 1408

Post_ A-I – Post_ D-I; Post_ D-III – Post_ A-III

Tapi nimetus	tk	Märkimine (min)	Lõikamine (min)	Aeg kokku (min)	Aeg kokku (min)	+60%
Tapp_nr_5_II	4	5	8	13	52	83,2
Tapp_nr_5_I	4	3	10	13	52	83,2
Tapp_nr_2_I	8	2	10	12	96	153,6
Tapp_nr_1_II	4	7	12	19	76	121,6
Tapp_nr_1_I	4	5	18	23	92	147,2
Tapp_nr_6	1	10	36	46	46	73,6
Dia_nr_7;8	4	5	5	10	40	64
Kontroll	1			240	240	384

2 x 1110,4 = 2220,8

Post_ D-II-2 – Post_ A-II-2

Tapi nimetus	tk	Märkimine (min)	Lõikamine (min)	Aeg kokku (min)	Aeg kokku (min)	+60%
Tapp_nr_5_II	6	5	8	13	78	124,8
Tapp_nr_5_I	6	3	10	13	78	124,8
Tapp_nr_2_I	12	3	10	13	156	249,6
Tapp_nr_1_II	2	7	12	19	38	60,8
Tapp_nr_1_I	2	5	18	23	46	73,6
Tapp_nr_6	1	10	36	46	46	73,6
Dia_nr_5	6	6	7	13	78	124,8
Kontroll	1			240	240	384

1142,4 = 1142,4

Katsekonstruktsiooni ehitus kokku:	8681,6 min	=	145 h
Hamlet Heavy Timberwork:	10080 min	=	168 h
Hobbiton Home OÜ:	17160 min	=	286 h
Haystack Joinery:	16200	=	270 h

SUMMARY

This Master's thesis "The development of a work scheme aimed at productivity growth for Weel OÜ for the production of tradition-based heavy timber frames" examines the structure of an appropriate study method and its implementation in addressing the research questions set by Weel OÜ. Within my study, I collected know-how and mapped the factors that influence productivity growth. Based on the information collected, I developed an efficient work scheme for Weel OÜ for the production of heavy timber frames. The work scheme seeks to save the company's resources in order to maintain the company's competitive edge among other producers of hand-made log and heavy timber frame structures.

This Master's thesis is presented in four chapters. The first chapter provides an overview of the study method applied to address the study questions. The second chapter describes the know-how collected by using the participant-as-observer method, including teamwork, marking and cutting methods, tools and computer programmes used in the production of tradition-based heavy timber frames. The third chapter provides an overview of the construction of roof structures. The fourth chapter presents the results of a comparative analysis of productivity and describes the factors that influence productivity growth as well as the structure of the work scheme designed to improve the production of tradition-based heavy timber frames.

This paper does not deal with the history of heavy timber frames nor does it discuss the nature of such frames because these aspects are not relevant to this study. The keyword here is *tradition-based*. In a tradition-based construction process, the emphasis has shifted from the process to the outcome. In the case of the construction processes described in this paper, the use of traditional construction methods is not important. Indeed, quite the opposite – the skilful deployment of semi-mechanised tools is a prerequisite for productivity growth.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, TarmoTammekivi,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Tootlikkuse kasvule suunatud tööskeemi loomine Weel OÜle traditsioonipõhiste vahvärkkonstruktsioonide valmistamiseks,

mille juhendajad on Kadi Karine ja Priit-Kalev Parts.

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu alates **01.05.2018** kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Viljandis, 14.**05.2015**